机械工人切削技术手册

第2版

陈宏钧　主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工人切削技术手册

第 2 版

陈宏钧　主编

机 械 工 业 出 版 社

《机械工人切削技术手册》是集车削加工，螺纹加工，铣削加工，齿轮加工，磨削加工，镗削加工，刨削、插削加工，钻削、铰削加工，钳工加工为主，并辅以相关实用现行标准为一体的工具书。

本手册各章节均以切削技术及操作技能为主题，精心选编，为广大读者提供了实用可靠的加工方法及实例，是机械工人在实际生产中不可缺少的一本便查手册。

本手册第 2 版对全书总体结构和内容设置作了适当的调整和增补，更进一步充实和完善了实用技术应用的内容。

本手册可供机械加工技术工人、技师、工艺技术人员使用，也可供技工学校的师生学习参考。

第 2 版前言

《机械工人切削技术手册》第 1 版自 2005 年出版发行以来，前后重印了 4 次，深受广大读者的厚爱和支持。近年来，随着我国机械工业的不断发展，新工艺、新技术不断出现、有关部门对相关标准也进行了修订和制定。为使本书更好地满足技术发展的需要，并使广大读者能及时地掌握有关标准修改的内容和应用，我们决定对本手册进行一次较全面的修订。

这次修订工作是在原书总体结构和内容设置的基础上作部分调整和增补，使之更适合广大读者的学习和使用。这次修订工作的重点有：

1. 首先按中、小型企业技术工人操作技能要求，重新对手册中的典型实例进行了分析，按技术要求、操作方法、工件装夹、刃具使用、计算测量方法及标准应用等内容在第 1 版的基础上进行了全面修订。

2. 根据手册中各工种不同的特点和需求，增补了常用刃具和磨料磨具标准，如焊接车刀

及刀片、钻头、铰刀、铣刀、齿轮刀具、镗刀杆及镗刀头、丝锥和板牙、磨料磨具等，更便于读者在实际生产中应用。

3. 对原手册附录部分中的技术标准（包括螺纹、齿轮等）按现行国家及行业标准进行了更新，并增补了“机械加工一般标准规范”，“切削加工件通用技术条件”等内容，改为“常用技术标准应用”一章。

修订后全书共分10章，主要内容包括：车削加工，螺纹加工，铣削加工，齿轮加工，磨削加工，镗削加工，刨削、插削加工，钻削、铰削加工，钳工加工和常用技术标准应用等。

《机械工人切削技术手册》第2版由陈宏钧任主编，参加编写的人员有：王学汉、李凤友、洪二芹、单立红、张洪、洪寿兰、陈环宇等。

由于我们水平有限，在编写中难免有不妥和错误之处，真诚希望广大读者批评指正。

编　者

目　　录

第 2 版前言
第一章　车削加工 ………………………………… 1
一、车刀 ………………………………………… 1
1. 刀具切削角度及其选择 ……………………… 1
2. 车刀的磨损和刃磨 ………………………… 9
3. 焊接车刀类型及规格尺寸 ………………… 17
4. 常用焊接车刀刀片 ………………………… 27
二、中心钻及中心孔的加工与修研 …………… 29
1. 中心钻的类型及规格范围 ………………… 29
2. 中心孔的加工与修研 ……………………… 30
三、车削圆锥面 ………………………………… 33
1. 锥体各部分的名称代号及尺寸计算 ……… 33
2. 车削圆锥面的方法 ………………………… 35
3. 车削圆锥时尺寸的控制方法 ……………… 44
4. 车削圆锥面时产生废品的原因及预防方法 … 47
四、车削偏心工件 ……………………………… 48
1. 车削偏心工件常用方法 …………………… 49
2. 测量偏心距的方法 ………………………… 55
3. 车削曲轴的装夹方法 ……………………… 59
五、车削成形面 ………………………………… 61
1. 用双手赶刀方法车削成形面 ……………… 61

2. 用成形刀（样板刀）的车削方法 ……… 62
3. 靠模法车削成形面 ……………………… 66
六、车削球面 ……………………………… 68
1. 用蜗杆副传动装置手动车削外球面 …… 69
2. 用蜗杆副传动装置手动车削内球面 …… 69
七、车削表面的滚压加工 ………………… 69
1. 滚压加工常用工具及应用 ……………… 70
2. 滚轮式滚压工具常用滚轮外圆形状及应用 … 70
3. 加工方法 ………………………………… 77
4. 滚花 ……………………………………… 80
八、车削薄壁工件 ………………………… 83
1. 工件的装夹方法 ………………………… 83
2. 刀具几何角度的选择 …………………… 87
3. 精车薄壁工件的切削用量 ……………… 87
九、车削细长轴 …………………………… 88
1. 细长轴的加工特点 ……………………… 88
2. 细长轴的装夹 …………………………… 88
3. 加工细长轴用车刀几何角度的综合要求 …… 92
4. 车削细长轴常用的切削用量 …………… 93
5. 车削细长轴常见的工件缺陷和产生原因 …… 94
十、冷绕弹簧 ……………………………… 95
1. 卧式车床可绕制弹簧的种类 …………… 95
2. 绕制圆柱形螺旋压缩弹簧 ……………… 95
3. 绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧……………… 100
4. 绕制圆锥形螺旋压缩弹簧……………… 100
5. 绕制橄榄形弹簧………………………… 100

第二章　螺纹加工 …………………………… 102
一、车螺纹 ………………………………… 102
1. 螺纹车刀和安装要求……………………… 102
2. 车螺纹车刀的刀尖宽度尺寸……………… 105
3. 车螺纹时的交换齿轮计算………………… 107
4. 车多线螺纹时的交换齿轮计算及分线方法…… 117
5. 螺纹车削方法……………………………… 121
6. 常用螺纹车刀的特点与应用……………… 123
二、旋风铣削螺纹 ………………………… 134
1. 旋风铣削螺纹方式及适用范围…………… 135
2. 旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度……… 136
3. 旋风铣削螺纹常用切削用量……………… 136
三、用板牙和丝锥切削螺纹 ……………… 138
1. 用车床套螺纹和攻螺纹的工具…………… 138
2. 丝锥、板牙标准规格尺寸………………… 139
3. 攻螺纹前底孔尺寸的计算………………… 148
4. 套螺纹前圆杆直径………………………… 155
四、螺纹的测量 …………………………… 157
1. 三针测量方法……………………………… 157
2. 单针测量方法……………………………… 171
3. 综合测量方法……………………………… 172
第三章　铣削加工 …………………………… 174
一、铣刀 …………………………………… 174
1. 铣刀切削部分的几何形状和角度的选择…… 174
2. 常用铣刀类型、规格范围及标准代号……… 186
3. 可转位铣刀………………………………… 208

二、分度头及分度方法 …………………………… 218
1. 分度头传动系统及分度头定数……………… 218
2. 分度方法及计算………………………………… 220
三、铣削离合器 ………………………………… 229
1. 齿式离合器的种类及特点…………………… 229
2. 矩形齿离合器的铣削…………………………… 233
3. 尖齿（正三角形）离合器铣削 ……………… 235
4. 梯形收缩齿离合器铣削……………………… 238
5. 锯形齿离合器铣削…………………………… 238
6. 梯形等高齿离合器的铣削…………………… 242
7. 螺旋齿离合器的铣削………………………… 243
四、铣削凸轮 …………………………………… 245
1. 凸轮传动的三要素…………………………… 245
2. 等速圆盘凸轮的铣削………………………… 248
3. 等速圆柱凸轮的铣削………………………… 250
五、铣削球面 …………………………………… 251
六、刀具开齿 …………………………………… 254
1. 前角 $\gamma_o = 0°$的铣刀开齿 ………………… 254
2. 前角 $\gamma_o > 0°$的铣刀开齿 ………………… 257
3. 圆柱螺旋齿铣刀开齿………………………… 259
4. 麻花钻头的铣削……………………………… 261
5. 端面刀齿的铣削……………………………… 262
6. 锥面刀齿的铣削……………………………… 263
7. 铰刀的开齿…………………………………… 264
七、铣削花键 …………………………………… 267
1. 用单刀铣削矩形齿花键轴…………………… 268

2. 用组合铣刀铣削矩形齿花键轴…………………… 273
3. 用硬质合金组合刀盘精铣花键轴…………… 274
4. 用成形铣刀铣削花键轴………………………… 274
5. 铣削花键轴时产生的误差及解决方法……… 277
八、铣削链轮 ………………………………………… 278
1. 铣削滚子链链轮………………………………… 278
2. 铣削齿形链链轮………………………………… 285
第四章　齿轮加工 ………………………………… 291
一、齿坯加工精度 ………………………………… 291
二、成形法铣削齿轮 ……………………………… 292
1. 铣直齿圆柱齿轮………………………………… 292
2. 铣削直齿条、斜齿条…………………………… 295
3. 铣斜齿圆柱齿轮………………………………… 295
4. 铣直齿锥齿轮…………………………………… 308
三、飞刀展成铣蜗轮 ……………………………… 310
1. 铣削方法………………………………………… 310
2. 交换齿轮计算…………………………………… 311
3. 铣头扳角度方向和工件旋转方向及中间
轮装置………………………………………… 312
4. 飞刀部分尺寸的计算公式…………………… 312
四、滚齿 …………………………………………… 317
1. 滚齿机传动系统（以 Y38 为例） ………… 317
2. 常用滚齿机连接尺寸………………………… 318
3. 常用滚齿夹具及齿轮的安装………………… 323
4. 滚刀心轴和滚刀的安装要求………………… 326
5. 滚刀精度的选用……………………………… 327

6. 渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围……… 327
7. 滚齿加工工艺参数的选择…………………… 331
8. 滚齿加工的调整……………………………… 332
9. 滚铣大质数齿轮（以 Y38 为例） ………… 344
10. 滚齿加工常见缺陷及解决方法 …………… 350
五、交换齿轮表 …………………………………… 358
六、齿轮测量 ……………………………………… 376
1. 公法线长度的测量…………………………… 376
2. 分度圆弦齿厚的测量………………………… 404
3. 固定弦齿厚的测量…………………………… 408
第五章　磨削加工 …………………………… 424
一、磨削加工基础 ………………………………… 424
1. 砂轮安装与修整……………………………… 424
2. 常用磨削液的名称及性能…………………… 432
二、外圆磨削 ……………………………………… 435
1. 工件的装夹…………………………………… 436
2. 砂轮的选择…………………………………… 443
3. 外圆磨削砂轮速度…………………………… 444
4. 外圆磨削余量的合理选择…………………… 444
5. 外圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法………………………………………… 447
三、内圆磨削 ……………………………………… 451
1. 工件的装夹…………………………………… 451
2. 内圆磨削砂轮的选择及安装………………… 455
3. 内圆磨削砂轮速度的选择…………………… 462
4. 内圆磨削余量的合理选择…………………… 462

5. 内圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法…………………………… 465
四、圆锥面磨削 …………………………… 465
1. 圆锥面的磨削方法…………………………… 465
2. 圆锥面的精度检验…………………………… 466
3. 圆锥面磨削产生废品的原因及预防方法…… 483
五、平面磨削 …………………………… 484
1. 工件的装夹方法…………………………… 485
2. 平面磨削砂轮的选择…………………………… 494
3. 平面磨削砂轮速度的选择…………………………… 494
4. 平面磨削余量的合理选择…………………………… 494
5. 平面磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法…………………………… 494
六、刀具刃磨 …………………………… 497
1. 工具磨床主要附件及其应用…………………………… 497
2. 刀具刃磨的砂轮选择…………………………… 497
3. 砂轮和支片安装位置的确定…………………………… 497
4. 刀具刃磨实例…………………………… 497
七、普通磨料磨具 …………………………… 520
1. 磨料的品种、代号及其应用范围…………… 520
2. 磨料粒度号及其选择…………………………… 524
3. 磨具硬度代号…………………………… 526
4. 磨具组织号及其适用范围…………………………… 527
5. 结合剂的代号、性能及其适用范围………… 527
6. 磨具代号…………………………… 530
7. 普通磨具的最高工作速度…………………………… 548

八、超硬材料 …………………………………… 552
1. 超硬磨料的品种、代号及应用范围………… 552
2. 粒度………………………………………… 553
3. 超硬磨料结合剂及其代号、性能和应用范围………………………………………… 555
4. 浓度代号…………………………………… 557
5. 砂轮、磨石及磨头的尺寸代号和术语……… 557
6. 砂轮、油石及磨头形状代号………………… 559
7. 标记示例…………………………………… 567
8. 超硬材料制品形状代号及主要用途………… 569
第六章　镗削加工 ………………………………… 572
一、镗刀杆、镗杆和镗套 ………………………… 572
1. 镗刀杆……………………………………… 572
2. 镗杆………………………………………… 574
3. 镗套、衬套………………………………… 584
二、镗刀 ………………………………………… 597
1. 单刃镗刀…………………………………… 597
2. 双刃镗刀…………………………………… 598
3. 微调镗刀…………………………………… 604
4. 复合镗刀的形式及应用范围………………… 608
5. 镗床用攻螺纹夹头………………………… 611
三、卧式镗床加工 ……………………………… 612
1. 卧式镗床的加工精度……………………… 612
2. 卧式镗床的基本定位方法………………… 612
3. 导向装置布置的形式与特点……………… 618
4. 工件定位基准及定位方法………………… 618

5. 镗削的基本类型及加工精度分析………… 618
6. 基本的镗削方法……………………………… 638
7. 镗孔坐标尺寸的计算………………………… 643
8. 卧式镗床常用测量方法及精度……………… 666
9. 卧式镗床加工中常见的质量问题与解决
方法………………………………………… 669
第七章 刨削、插削加工 ……………………… 674
一、刨削 ……………………………………… 674
1. 刨削加工方法……………………………… 674
2. 刨刀类型及切削角度的选择……………… 680
3. 刨削常用装夹方法………………………… 687
4. 槽类工件的刨削与切断…………………… 692
5. 镶条的刨削………………………………… 697
6. 精刨………………………………………… 700
7. 常用刨削用量……………………………… 707
8. 刨削常见问题的产生原因及解决方法……… 709
二、插削 ……………………………………… 719
1. 常用插削方式和加工方法………………… 719
2. 插刀………………………………………… 726
第八章 钻削、铰削加工 ……………………… 729
一、钻削 ……………………………………… 729
1. 麻花钻……………………………………… 729
2. 硬质合金麻花钻…………………………… 741
3. 几种典型钻头举例………………………… 747
4. 工件的装夹方法…………………………… 753
5. 钻削不同孔距精度所用的加工方法………… 760

6. 切削液的选用…………………………………… 761
7. 常用的钻孔方法………………………………… 761
8. 特殊孔的钻削方法……………………………… 762
二、扩孔 ………………………………………………… 768
1. 扩孔钻类型、规格范围及标准代号………… 768
2. 扩孔方法………………………………………… 768
3. 扩孔、钻扩孔中常见问题的产生原因和
解决方法………………………………………… 770
三、锪孔 ………………………………………………… 771
1. 锪钻的类型、规格范围及标准代号………… 772
2. 用麻花钻改制锪钻……………………………… 776
3. 锪端面…………………………………………… 777
4. 锪孔中常见问题的产生原因和解决方法…… 778
四、铰削 ………………………………………………… 779
1. 铰刀……………………………………………… 779
2. 铰削方法………………………………………… 781
3. 多刃铰刀铰孔中常见问题的产生原因和
解决方法………………………………………… 801
第九章　钳工加工 ………………………………… 810
一、刮削 ………………………………………………… 810
1. 常见刮削的应用及刮削面种类……………… 810
2. 刮削工具………………………………………… 811
3. 刮削余量………………………………………… 827
4. 刮削精度要求…………………………………… 830
5. 刮削方法………………………………………… 831
6. 刮削面的质量分析……………………………… 841

二、研磨 …………………………………………… *843*
1. 研磨的分类及适用范围……………………… *843*
2. 研磨剂………………………………………… *843*
3. 研具…………………………………………… *851*
4. 研磨方法……………………………………… *861*
5. 研磨常见问题………………………………… *872*
三、珩磨 …………………………………………… *873*
1. 珩磨头的结构及连接方式…………………… *874*
2. 珩磨油石的选择……………………………… *883*
3. 珩磨工艺参数的选择………………………… *887*
4. 珩磨余量的选择……………………………… *891*
5. 珩磨液的选择………………………………… *892*
6. 对工件珩磨前的要求………………………… *893*
四、矫正 …………………………………………… *894*
1. 常用手工矫正方法…………………………… *894*
2. 常用机械矫正方法…………………………… *904*
五、弯形 …………………………………………… *906*
1. 弯形件展开长度的计算方法………………… *908*
2. 弯形方法……………………………………… *908*
六、典型部件装配方法举例 ……………………… *935*
1. 螺纹连接……………………………………… *935*
2. 键连接………………………………………… *941*
3. 销连接………………………………………… *948*
4. 过盈连接……………………………………… *950*
5. 滑动轴承的装配……………………………… *958*
6. 滚动轴承的装配……………………………… *964*

第十章　常用技术标准应用 …………………… 977
一、螺纹 ………………………………………… 977
1. 普通螺纹………………………………………… 977
2. 梯形螺纹（30°）（Tr） ………………… 1014
3. 55°管螺纹 ……………………………… 1040
4. 60°密封管螺纹 ………………………… 1052
5. 米制管螺纹（60°） ……………………… 1061
6. 英制惠氏螺纹 ……………………………… 1067
二、齿轮 ………………………………………… 1072
1. 渐开线圆柱齿轮 ……………………………… 1072
2. 齿条 ………………………………………… 1087
3. 锥齿轮 ……………………………………… 1090
4. 圆柱蜗杆和蜗轮 ……………………………… 1098
三、机械加工的一般标准规范 ………………… 1111
1. 中心孔 ……………………………………… 1111
2. 各类槽 ……………………………………… 1114
3. 零件倒圆与倒角 ……………………………… 1119
4. 球面半径 …………………………………… 1120
5. 螺纹零件 …………………………………… 1121
四、切削加工件通用技术条件 ………………… 1138
1. 一般要求 …………………………………… 1138
2. 线性尺寸的一般公差 ………………………… 1139
3. 角度尺寸的一般公差 ………………………… 1141
4. 形状和位置公差的一般公差 ………………… 1141
5. 螺纹 ………………………………………… 1144
6. 中心孔 ……………………………………… 1144

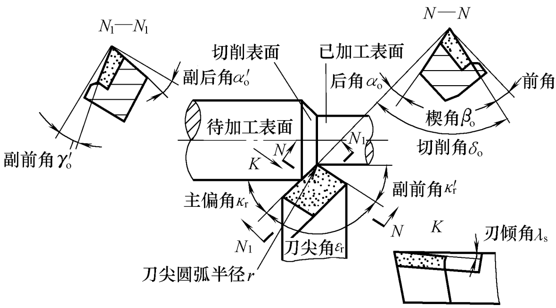
第一章　车削加工

一、车刀

1. 刀具切削角度及其选择

（1）刀具的切削角度及其作用（表 1-1）

表 1-1　刀具的切削角度及其作用



名称	代号	位置和作用
前　角	γ_o	前面经过主切削刃与基面的夹角，在主断面内测出。它影响切屑变形、切屑与前面的摩擦及刀具强度

（续）

名称	代号	位置和作用
副前角	γ_o'	前面经过副切削刃与基面的夹角，在副断面内测出
后　角	α_o	主后面与切削平面的夹角，在主断面内测出。用来减少主后面与工件的摩擦
副后角	α_o'	副后面与通过副切削刃并垂直于基面的平面之间的夹角，在副断面内测出。用来减少副后面与已加工表面的摩擦
主偏角	κ_r	主切削刃与被加工表面（走刀方向）之间的夹角 当吃刀深度和走刀量一定时，改变主偏角可以使切屑变薄或变厚，影响散热情况和切削力的变化
副偏角	κ_r'	副切削刃与已加工表面（走刀方向）之间的夹角。它可以避免副切削刃与已加工表面的摩擦，影响已加工表面粗糙度
过渡偏角	ϕ_o	过渡刀刃与被加工表面（走刀方向）之间的夹角。用来增加刀尖强度
刃倾角	λ_s	主切削刃与基面之间的夹角。它可以控制切屑流出方向，增加刀刃强度并能使切削力均匀
楔　角	β_o	前面与主后面之间的夹角，在主断面内测出。它影响刀头断面的大小

（2）刀具切削部分几何参数的选择

1）硬质合金车刀前角参考值见表1-2。

表1-2　硬质合金车刀前角参考值

工件材料	前角 γ_o	
	粗车	精车
低碳钢Q235	18°~20°	20°~25°
45钢（正火）	15°~18°	18°~20°
45钢（调质）	10°~15°	13°~18°
45钢、40Cr铸钢件或锻件断续切削	10°~15°	5°~10°
灰铸铁HT150、HT200，青铜ZCuSn10Pb1、黄铜HPb59-1	10°~15°	5°~10°
铝1050A及铝合金2A12	30°~35°	35°~40°
纯铜T1~T4	25°~30°	30°~35°
奥氏体不锈钢（185HBW以下）	15°~25°	
马氏体不锈钢（250HBW以下）	15°~25°	
马氏体不锈钢（250HBW以上）	−5°	
40Cr钢（正火）	13°~18°	15°~20°
40Cr钢（调质）	10°~15°	13°~18°
40钢、40Cr钢锻件	10°~15°	
淬硬钢（40~50HRC）	−15°~−5°	
灰铸铁断续切削	5°~10°	0°~5°
高强度钢（$\sigma_b<1800$MPa）	−5°	
高强度钢（$\sigma_b>1800$MPa）	−10°	

（续）

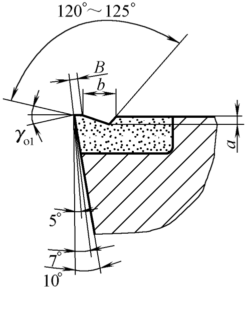
工　件　材　料	前　角　γ_o	
	粗　车	精　车
锻造高温合金	5°～10°	
铸造高温合金	0°～5°	
钛及钛合金	5°～10°	
铸造碳化钨	−10°～−15°	

2）硬质合金车刀断屑槽尺寸见表 1-3。

表 1-3　硬质合金车刀断屑槽尺寸

（单位：mm）

直线形硬质合金车刀断屑槽尺寸



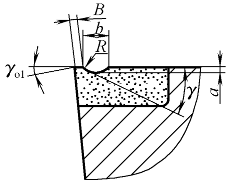
$B=(0.5\sim0.8)f$

$\gamma_{o1}=-5°\sim-10°$

背吃刀量 a_p	进　给　量　f			
	0.15～0.3	0.3～0.45	0.45～0.7	0.7～0.9
	$b\times a$			
～1	1.5×0.3	2×0.4	3×0.5	3.25×0.5
1～4	2.5×0.5	3×0.5	4×0.6	4.5×0.6
4～9	3×0.5	4×0.6	4.5×0.6	5×0.6

（续）

圆弧形硬质合金车刀断屑槽尺寸



a 为 0.5 ~ 1.3mm（由所取前角值决定）；*R* 在 *b* 的宽度和 *a* 的深度下成一自然圆弧

背吃刀量 a_p	进给量 f				
	0.3	0.4	0.5 ~ 0.6	0.7 ~ 0.8	0.9 ~ 1.2
	R				
2 ~ 4	3	3	4	5	6
5 ~ 7	4	5	6	8	9
7 ~ 12	5	8	10	12	14

3）硬质合金车刀后角参考值见表 1-4。

表 1-4　硬质合金车刀后角参考值

工件材料	后角 α_o	
	粗车	精车
低碳钢	8° ~ 10°	10° ~ 12°
中碳钢及合金结构钢	5° ~ 7°	6° ~ 8°
不锈钢	6° ~ 8°	8° ~ 10°
淬硬钢	12° ~ 15°	

（续）

工　件　材　料	后　角　α_o	
	粗　车	精　车
灰铸铁	4°～6°	6°～8°
铝及铝合金、纯铜	8°～10°	10°～12°
钛合金	10°～15°	
高强度钢	10°	

4）硬质合金车刀主偏角参考值见表1-5。

表1-5　硬质合金车刀主偏角参考值

加　工　条　件	主偏角 κ_r
在工艺系统刚性很好的条件下，以小背吃刀量车削冷硬铸铁及淬硬钢	10°～30°
在工艺系统刚性好的条件下车削	45°
在工艺系统刚性不足的条件下车削钢件的内孔	60°
在工艺系统刚性较差的条件下，车削铸铁件的内孔	70°～75°
细长轴或薄壁工件的车削，台阶轴及台阶孔	90°～93°

5）硬质合金车刀副偏角参考值见表1-6。

6）硬质合金车刀刃倾角参考值见表1-7。

表 1-6　硬质合金车刀副偏角参考值

加　工　条　件	副偏角 κ_r'
大进给强力切削	0°
车槽及切断	1°～2°
精车	5°～10°
粗车	10°～15°
粗车孔	15°～20°
需作中间切入或双向进给的车削	30°～45°

表 1-7　硬质合金车刀刃倾角参考值

加工条件及工件材料		刃倾角 λ_s
精车孔	钢件	0°～5°
	铝及铝合金	5°～10°
	纯铜	5°～10°
粗车、余量均匀	钢件、灰铸铁	0°～－5°
	铝及铝合金	5°～10°
	纯铜	5°～10°
车削淬硬钢		－5°～－12°
断续切削钢件、灰铸铁		－10°～－15°
断续切削余量不均匀的铸铁、锻件		－10°～－45°
微量精车、精车孔		45°～75°

7）过渡刃的选择。

过渡刃的主要作用是提高刀尖强度，改善散热条件。可在刀尖处磨出过渡切削刃，过渡刃有直线形和圆弧形两种（图 1-1）。采用直线形过渡刃时，过渡刃偏角 $\kappa_{r\varepsilon}=\frac{1}{2}\kappa_r$，过渡刃长度 $b_\varepsilon=0.5\sim2$mm。采用圆弧形过渡刃，可减少切削时的残留面积高度，但 r_ε 不能太大，否则会引起振动。

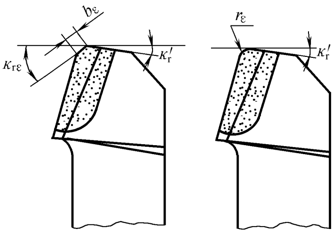


图 1-1　过渡刃

a）直线形　b）圆弧形

硬质合金车刀，刀尖圆弧半径参考值见表 1-8。

表 1-8　刀尖圆弧半径参考值

（单位：mm）

背吃刀量	刀尖圆弧半径 r_ε	
	钢、铜	铸铁、非金属
3	0.6	0.8

（续）

背吃刀量	刀尖圆弧半径 r_ε	
	钢、铜	铸铁、非金属
4～9	0.8	1.6
10～19	1.6	2.4
20～30	2.4	3.2

2. 车刀的磨损和刃磨

（1）刀具磨损的形式

由于加工材料不同，切削用量不同，刀具磨损的形式也不同。主要有以下三种形式。

1）后面磨损（图1-2）。指磨损部位主要发生在后刀面上。磨损后形成 $\alpha_0=0°$ 的磨损带，它用宽度 V_B 表示磨损量，这种磨损一般是在切削脆性材料或用较低的切削速度和较小的切削厚度（$a_c<0.1$mm）切削塑性材料时发生的。这时前面上的机械摩擦较小，温度较低，所以后面上的磨损大于前面上的磨损。

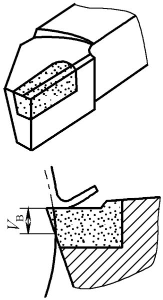


图1-2　后面磨损

2）前面磨损（图1-3）。指磨损部位主要发生在前刀面上（kT 为前面的磨损量）。磨损后在前刀面靠近刃口处出现月牙洼，在磨损过程中，月牙洼逐渐加深加

宽，并向刃口方向扩展，甚至导致崩刃。这种磨损一般是在用较高的切削速度和较大的切削厚度（a_c > 0.5mm）切削塑性材料时发生的。

3）前、后面同时磨损（图 1-4）。指前面的月牙洼（kT）和后面的棱面（VB）同时发生的磨损。这种磨损发生的条件介于以上两种磨损之间，即发生在切削厚度 a_c = 0.1 ~ 0.5mm 时，切削塑性材料的情况下。

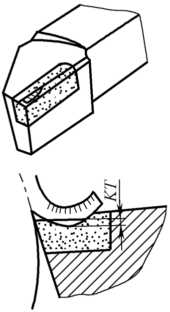


图 1-3　前面磨损

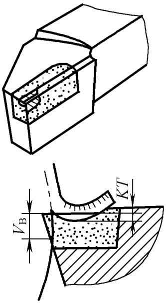


图 1-4　前、后面同时磨损

因为在大多数情况下后面都有磨损，V_B 的大小对加工精度和表面粗糙度影响较大，而且对 V_B 的测量也较方便，所以车刀的磨钝标准以测出的 V_B 大小为准。

（2）车刀磨钝标准及耐用度（表 1-9）

表 1-9　车刀的磨钝标准及耐用度

<table>
<tr><td rowspan="16">磨钝标准</td><td>车刀类型</td><td>刀具材料</td><td>加工材料</td><td>加工性质</td><td>后刀面最大磨损限度 V_B/mm</td></tr>
<tr><td rowspan="15">外圆车刀、端面车刀、镗刀</td><td rowspan="5">高速钢</td><td rowspan="2">碳钢、合金钢、铸钢、有色金属</td><td>粗车</td><td>1.5～2.0</td></tr>
<tr><td>精车</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">灰铸铁、可锻铸铁</td><td>粗车</td><td>2.0～3.0</td></tr>
<tr><td>半精车</td><td>1.5～2.0</td></tr>
<tr><td>耐热钢、不锈钢</td><td>粗、精车</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td rowspan="10">硬质合金</td><td rowspan="2">碳钢、合金钢</td><td>粗车</td><td>1.0～1.4</td></tr>
<tr><td>精车</td><td>0.4～0.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铸铁</td><td>粗车</td><td>0.8～1.0</td></tr>
<tr><td>精车</td><td>0.6～0.8</td></tr>
<tr><td>耐热钢、不锈钢</td><td>粗、精车</td><td>0.8～1.0</td></tr>
<tr><td>钛合金</td><td>精、半精车</td><td>0.4～0.5</td></tr>
<tr><td>淬硬钢</td><td>精车</td><td>0.8～1.0</td></tr>
</table>

（续）

	车刀类型	刀具材料	加工材料	加工性质	后刀面最大磨损限度 V_B/mm
磨钝标准	切槽及切断刀	高速钢	钢、铸钢	—	0.8～1.0
			灰铸铁		1.5～2.0
		硬质合金	钢、铸钢		0.4～0.6
			灰铸铁		0.6～0.8
	成形车刀	高速钢	碳钢		0.4～0.5

	刀具材料	硬质合金	高速钢	
车刀耐用度		普通车刀	普通车刀	成形车刀
	车刀耐用度 T/min	60	60	120

注：以上为焊接车刀的寿命，机夹可转位车刀的寿命可适当降低，一般选为30min。

（3）车刀的手工刃磨

1）砂轮的选择。车刀刃磨常用砂轮有两种：一种

是白刚玉 WA（GB）[㊀]砂轮，其砂粒韧性较好，比较锋利，硬度稍低，适用于刃磨高速钢车刀（选用 F46 ~ F60）和磨削硬质合金车刀的刀杆部分（选用 F46）。另一种是绿碳化硅 GC（TL）[㊀]砂轮，其砂粒硬度高，切削性能好，但较脆，适用于刃磨硬质合金车刀（选用 F46 ~ F60）。

2）刃磨步骤：

① 先把车刀前面、主后面和副后面等处的焊渣磨去，并磨平车刀的底平面。

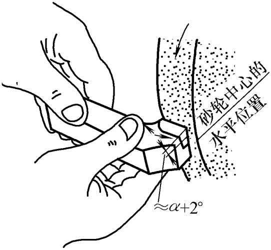
② 粗磨主后面和副后面的刀杆部分，其后角应比刀片的后角大 2° ~3°，以便刃磨刀片的后角。

③ 粗磨刀片上的主后面、副后角和前面，粗磨出来的主后角、副后角应比所要求的后角大 2°左右（图 1-5）。

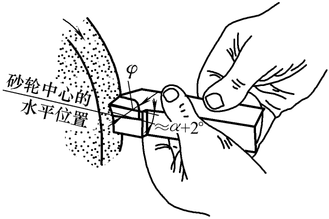
④ 精磨前面及断屑槽。断屑槽一般有两种类型，即直线型和圆弧型。刃磨圆弧型断屑槽，必须把砂轮的外圆与平面的交接处修整成相应的圆弧。刃磨直线型断屑槽，砂轮的外圆与平面的交接处应修整得尖锐。刃磨时刀尖可向上或向下磨削（图 1-6）。刃磨时应注意断屑槽形状、位置及前角大小。

⑤ 精磨主后面和副后面。刃磨时，将车刀底平面靠在调整好角度的台板上，使切削刃轻靠住砂轮端面进行刃磨。刃磨后的刃口应平直，精磨时应注意主、副后角的角度（图 1-7）。

㊀ 括号内为旧标准代号。



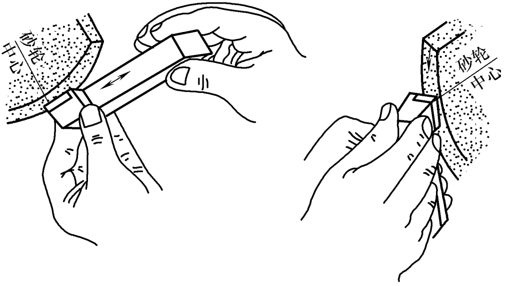
a)



b)

图 1-5　粗磨主后角、副后角

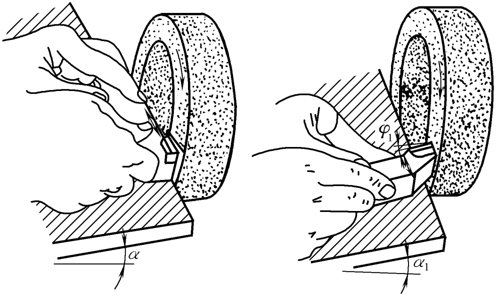
a）粗磨主后角　b）粗磨副后角



a)　　　　b)

图 1-6　磨断屑槽

a）在砂轮右侧上刃磨　b）在砂轮左侧上刃磨



a)　　　　b)

图 1-7　精磨主、副后面

a）精磨主后面　b）精磨副后面

⑥　磨负倒棱。刃磨时，用力要轻，车刀要沿主切削刃的后端向刀尖方向摆动。磨削时可以用直磨法和横磨法（图 1-8）。

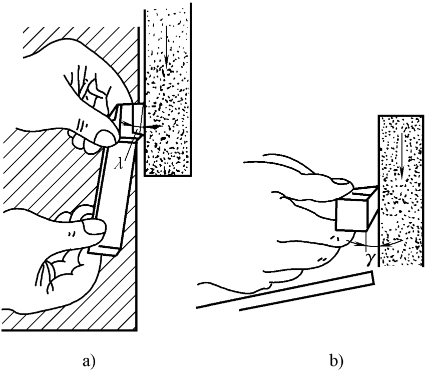


图 1-8　磨负倒棱

a）直磨法　b）横磨法

⑦　磨过渡刃。过渡刃有直线形和圆弧形两种。刃磨方法和精磨后刀面时基本相同（图 1-9）。

对于车削较硬材料的车刀，也可以在过渡刃上磨出负倒棱。对于大进给量车刀，可用相同的方法在副刀刃上磨出修光刃（图 1-10）。

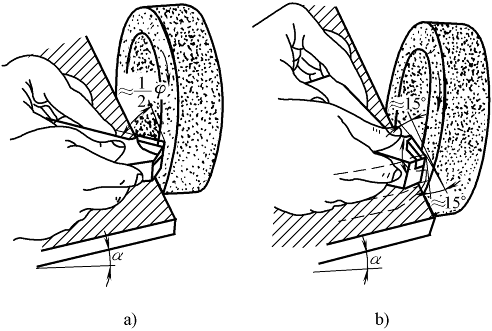


图 1-9　磨过渡刃

a）磨直线形过渡刃　b）磨圆弧形过渡刃

刃磨后的刀刃一般不够平滑光洁，刃口呈锯齿形，切削时，会影响工件表面粗糙度。所以手工刃磨后的车刀，应用油石进行研磨，以消除刃磨后的残留痕迹。

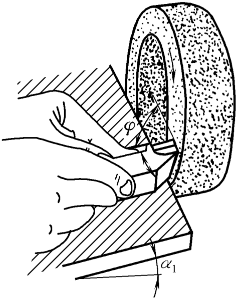


图 1-10　磨修光刃

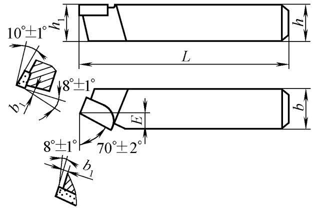
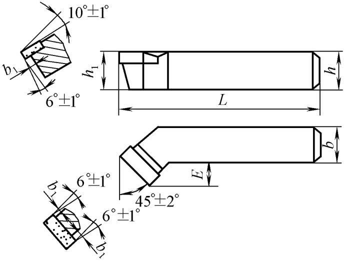
3. 焊接车刀类型及规格尺寸

（1）硬质合金外表面车刀

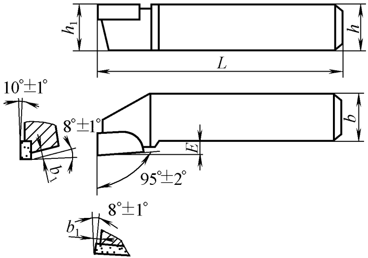
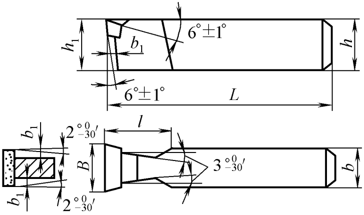
硬质合金外表面车刀共有 11 种形式，其规格尺寸见表 1-10。

表 1-10　硬质合金外表面车刀形式及规格尺寸

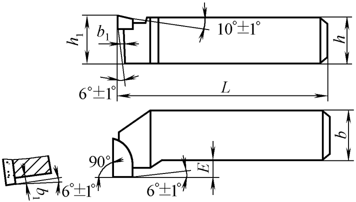
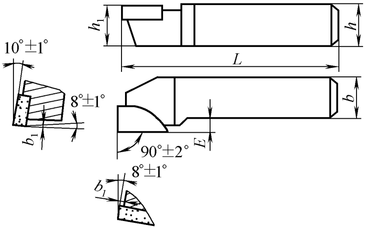
（GB/T 17985.2—2000）　　　　（单位：mm）

代号	名　称	车刀形式	主要尺寸范围
01	70°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$
02	45°端面车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

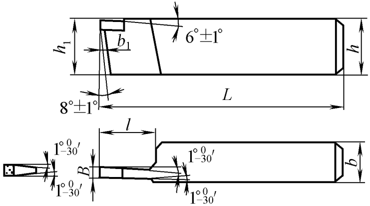
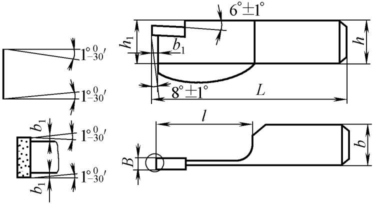
（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
03	95°外圆车刀 （右、左）		$L = 90 \sim 240$ $h = 10 \sim 50$ $b = 10 \sim 50$ $h_1 = 10 \sim 50$
04	切槽车刀		$L = 90 \sim 240$ $h = 10 \sim 50$ $b = 10 \sim 32$ $h_1 = 10 \sim 50$

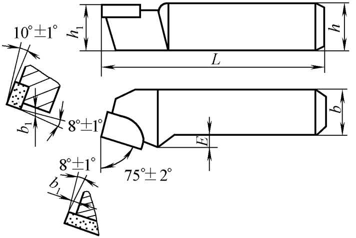
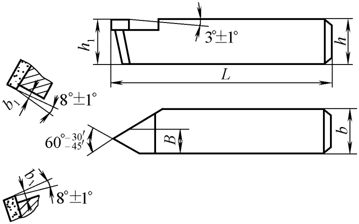
（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
05	90°端面车刀 （右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$
06	90°外圆车刀 （右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$

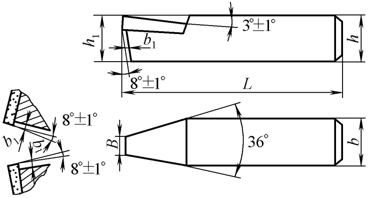
（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
07	A 型切断车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$
15	B 型切断车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$

（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
14	75°外圆车刀（右、左）		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim50$ $h_1=10\sim50$
16	外螺纹车刀		$L=90\sim240$ $h=10\sim50$ $b=10\sim32$ $h_1=10\sim50$

（续）

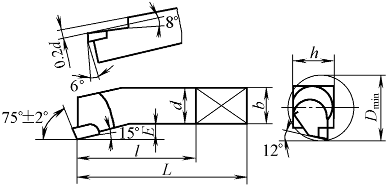
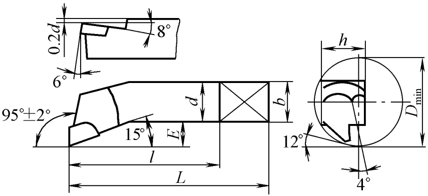
代号	名　称	车刀形式	主要尺寸范围
17	带轮车刀		$L=100\sim240$ $h=12\sim50$ $b=12\sim35$ $h_1=12\sim50$

（2）硬质合金内表面车刀

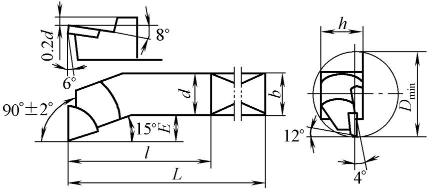
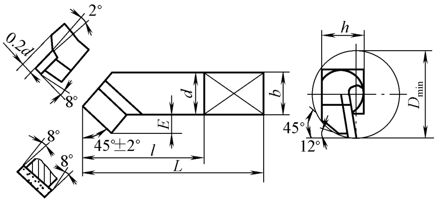
硬质合金内表面车刀共有 6 种形式，其规格尺寸见表 1-11。

表 1-11　硬质合金内表面车刀形式及规格尺寸(GB/T 17985.3—2000)

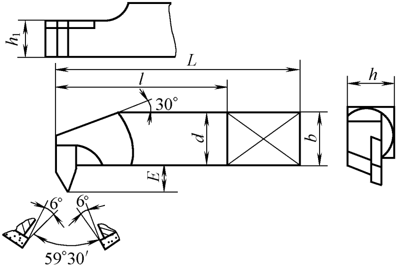
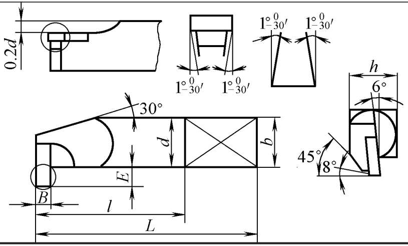
(单位:mm)

代号	名　称	车刀形式	主要尺寸范围
08	75°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$
09	95°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$

（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
10	90°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$
11	45°内孔车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$

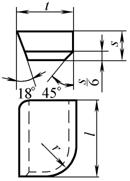
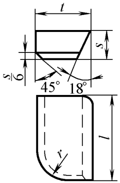
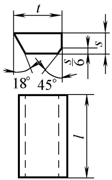
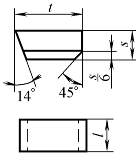
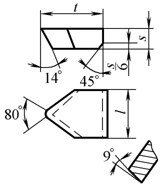
（续）

代号	名　称	车 刀 形 式	主要尺寸范围
12	内螺纹车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$
13	内孔切槽车刀		$L=125\sim355$ $h=8\sim32$ $b=8\sim32$ $l=40\sim160$

4. 常用焊接车刀刀片

常用焊接车刀刀片见表 1-12。

表 1-12　常用焊接车刀刀片(YS/253—1994)　(单位:mm)

				
A 型	B 型	C 型	D 型	E 型

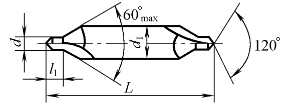
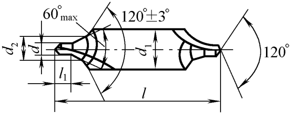
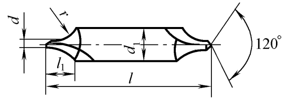
（续）

型号	基本尺寸				型号	基本尺寸				型号	基本尺寸				型号	基本尺寸				型号	基本尺寸			
	l	*t*	*s*	*r*		*l*	*t*	*s*	*r*		*l*	*t*	*s*	*r*		*l*	*t*	*s*	*r*		*l*	*t*	*s*	*r*
A5	5	3	2	2	B5	5	3	2	2	C5	5	3	2	—	D3	3.5	8	3	—	E4	4	10	2.5	—
A6	6	4	2.5	2.5	B6	6	4	2.5	2.5	C6	6	4	2.5	—	D4	4.5	10	4	—	E5	5	12	3	—
A8	8	5	3	3	B8	8	5	3	3	C8	8	5	3	—	D5	5.5	12	5	—	E6	6	14	3.5	—
A10	10	6	4	4	B10	10	6	4	4	C10	10	6	4	—	D6	6.5	14	6	—	E8	8	16	4	—
A12	12	8	5	5	B12	12	8	5	5	C12	12	8	5	—	D8	8.5	16	8	—	E10	10	18	5	—
A16	16	10	6	6	B16	16	10	6	6	C16	16	10	6	—	D10	10.5	18	10	—	E12	12	20	6	—
A20	20	12	7	7	B20	20	12	7	7	C20	20	12	7	—	D12	12.5	20	12	—	E16	16	22	7	—
A25	25	14	8	8	B25	25	14	8	8	C25	25	14	8	—						E20	20	25	8	—
A32	32	18	10	10	B32	32	18	10	10	C32	32	18	10	—						E25	25	28	9	—
A40	40	22	12	12	B40	40	22	12	12	C40	40	22	12	—						E32	32	32	10	—
A50	50	25	14	14	B50	50	25	14	14	C50	50	25	14	—										

二、中心钻及中心孔[一]的加工与修研

1. 中心钻的类型及规格范围(表 1-13)

表 1-13　中心钻的类型及规格范围(GB/T 6078.1～4—1998)

类　型	简　　图	规格范围/mm
不带护锥中心钻(A 型)		$d \times d_1 \times L \times l_1$ 0.5×3.15×31.5×1 ～10×25×100×14.2
带护锥中心钻(B 型)		$d \times d_1 \times d_2 \times l$ 1×4×2.12×35.5 ～10×31.5×21.2×125
弧形中心钻(R 型)		$d \times d_1 \times l \times l_1$ 1×3.15×31.5×3 ～10×25×100×26.5

[一] 60°中心孔分 A 型、B 型、C 型、R 型 4 种形式,其规格尺寸见表 10-71～表 10-74。

2. 中心孔的加工与修研

中心孔是轴类零件常用的定位基面，中心孔的质量直接影响轴的加工精度，所以对中心孔的加工有如下要求：

1）两端中心孔应在同一轴线上，而且深度应一致。

2）保证中心孔的圆度。

3）中心孔位置应保证工件加工余量均匀。

4）中心孔的尺寸应与工件的直径尺寸相适应。

（1）中心孔的加工及质量分析

在车床上钻中心孔前必须将尾座严格地校正，使其对准主轴中心（图 1-11）。

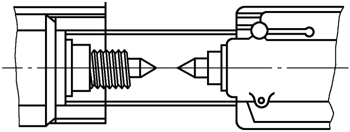


图 1-11　校正尾座与主轴对中心

直径 6mm 以下的中心孔通常用中心钻直接钻出。

1）在直径较小的工件上钻中心孔。把工件夹紧在卡盘上，尽可能伸出短些，校正后，端面车平，不允许留有凸头。把中心钻装在钻夹头中夹紧，并直接或用锥形套柄过渡插入车床尾座套筒的锥孔中。然后缓慢均匀地摇动尾座手轮，当中心钻钻入工件端面时（图 1-12），速度要减慢，并保持均匀，加切削液，还应勤退刀，及时清除切屑。当中心孔钻到尺寸时，先停止进给，再停机，利用主轴惯性使中心孔表面修圆整后再退出。

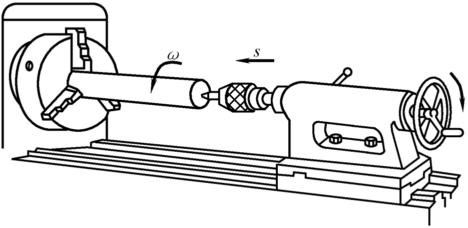


图 1-12　在车床上钻中心孔

2）在直径大又长的工件上钻中心孔。如果工件直径较大，而且又长，不能通过车床主轴孔时，需要采用卡盘夹持及中心架支承的方法钻中心孔（图 1-13）。

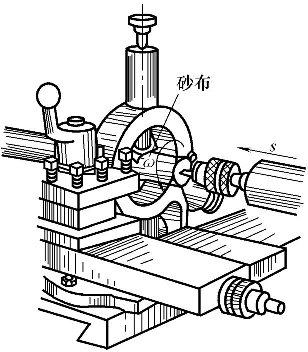
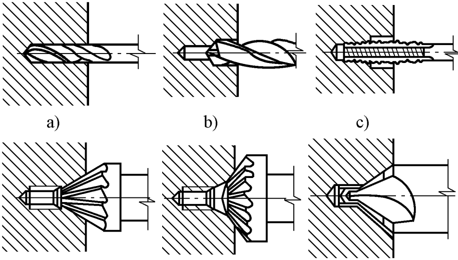


图 1-13　在中心架上钻中心孔

3）钻C型中心孔（图1-14）。用两个不同直径的钻头钻螺纹底孔和短圆柱孔（图1-14a、b），内螺纹用丝锥攻出（图1-14c），60°及120°锥面可用60°及120°锪钻锪出（图1-14d、e）或用改制的B型中心钻钻出（图1-14f）。



a)　b)　c)　d)　e)　f)

图1-14　C型中心孔的加工

4）中心孔质量分析（图1-15）。正确的中心孔形状如图1-15a所示。

中心孔钻得过深（图1-15b），使顶尖跟中心孔不能锥面配合，接触不好；工件直径很小（图1-15c），但中心孔钻得很大，使工件因没有端面而形成废品；中心孔钻偏（图1-15d、e），使工件毛坯车不到规定尺寸而造成废品；两端中心孔连线与工件轴线不重合（图1-15f），造成工件余量不够而成废品；中心钻磨损以后，圆柱部分修磨得太短（图1-15g），造成顶尖与中心孔的底面相碰，使60°锥面不接触而影响加工精度。

（2）中心孔的修研

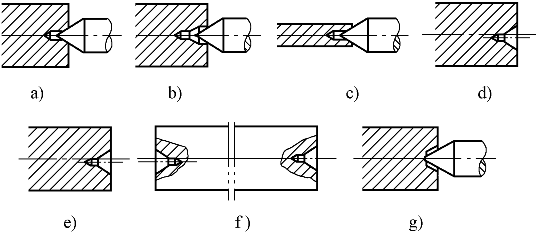


图 1-15　中心孔质量分析

零件在加工过程中，中心孔的磨损及热处理后的氧化变形，都有必要对中心孔进行修研。以保证定位精度。

中心孔常用的修研方法有两种：一是用铸铁顶尖或橡胶砂轮、成形油石作为研具加研磨剂，在车床上研磨。另一种方法是用硬质合金顶尖刮研（图 1-16）。通过顶尖上刃带的切削或挤压作用，提高中心孔表面质量，纠正形状误差。

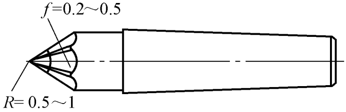
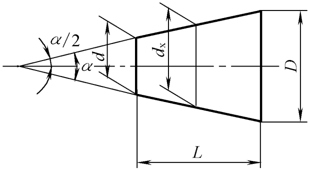


图 1-16　硬质合金顶尖

三、车削圆锥面

1. 锥体各部分的名称代号及尺寸计算（表 1-14）

表 1-14　锥体各部分的名称代号及尺寸的计算公式



D—最大圆锥直径　d—最小圆锥直径　d_x—给定截面圆锥直径　L—圆锥长度　α—圆锥角　$\alpha/2$—圆锥半角

尺寸名称	代号	计算公式
斜度	S	$S=\tan\frac{\alpha}{2}$ $S=\frac{D-d}{2L}$ $S=\frac{C}{2}$
锥度	C	$C=2S$ $C=2\tan\frac{\alpha}{2}$ $C=\frac{D-d}{L}$
最大圆锥直径	D	$D=d+2L\tan\frac{\alpha}{2}$ $D=d+CL$ $D=d+2LS$
最小圆锥直径	d	$d=D-2L\tan\frac{\alpha}{2}$ $d=D-CL$ $d=D-2LS$

2. 车削圆锥面的方法

圆锥体有各种不同的形式，在车床上加工圆锥体主要有 4 种方法：

（1）转动小刀架车削圆锥体（图 1-17）

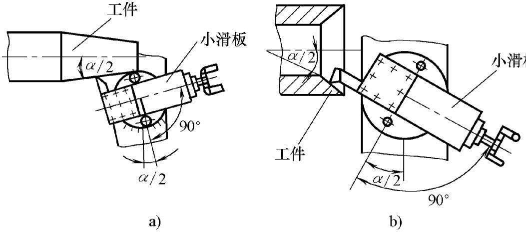


图 1-17 转动小刀架车削圆锥体

a）车削外锥面 b）车削内锥面

圆锥长度较短、斜角 $\alpha/2$ 较大时，可以采用转小刀架法车削。

由于圆锥的角度标注方法不同，一般不能直接按图样上所标注的角度转动小刀架，必须经过换算。换算的原则是把图样上所标注的角度，换算成圆锥母线与零件轴线（即车床主轴轴线）的夹角，即 $\alpha/2$，这就是车床小刀架应该转过的角度。

1）计算公式：

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L} \text{或} \tan\frac{\alpha}{2}=\frac{C}{2}$$

例 1 已知圆锥体的最大圆锥直径 $D=24\text{mm}$，最小圆锥

直径 $d=20$mm，圆锥长度 $L=32$mm，求小刀架转动角度$\frac{\alpha}{2}$。

解 $\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L}=\frac{24-20}{2\times32}=0.0625$

查三角函数表　$\tan3°34'=0.06233$

$\tan3°36'=0.06291$

取平均值　$\tan3°35'=0.06262$

所以　$\frac{\alpha}{2}\approx3°35'$

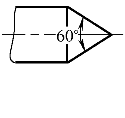
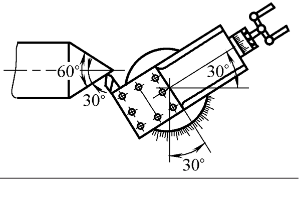
例 2　车削一锥体，已知锥度 $C=1:10$，问小刀架应转多少度？

解 $\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{C}{2}=\frac{\frac{1}{10}}{2}=\frac{1}{20}=0.05$

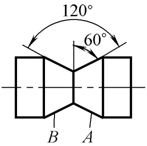
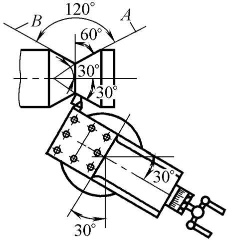
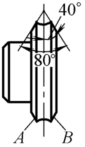
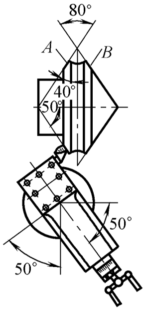
查三角函数表 $\tan2°52'=0.05007$，所以$\frac{\alpha}{2}\approx2°52'$，即小刀架应转过 2°52′。

2）车削圆锥面时小刀架转动角度举例见表 1-15。

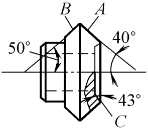
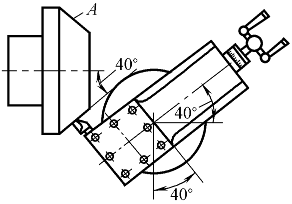
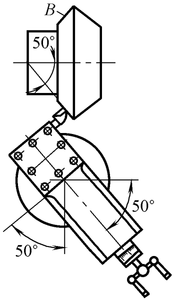
表 1-15　车削圆锥面时小刀架转动角度举例

图　　例	小刀架应转角度	车削示意图
	逆时针 30°	

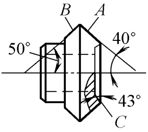
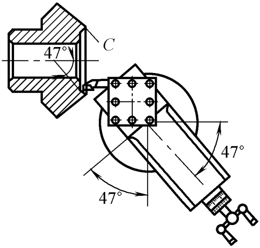
（续）

图　　例	小刀架应转角度	车削示意图
	*A* 面顺时针 30° *B* 面逆时针 30°	
	*A* 面顺时针 50° *B* 面逆时针 50°	

（续）

<table>
<tr><th>图　　例</th><th>小刀架应转角度</th><th>车削示意图</th></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td>A 面逆时针 40°</td><td>
</td></tr>
<tr><td>B 面顺时针 50°</td><td>
</td></tr>
</table>

（续）

图例	小刀架应转角度	车削示意图
	C 面顺时针 47°	

（2）用靠模板车削圆锥体

对尺寸相同和批量大、且精度高、角度小的圆锥体用靠模板方法（图 1-18）加工。靠模板调整方便、准确，可以自动进刀，车削圆锥体和圆锥孔的质量较高。但靠模装置的角度调节范围较小，一般在 12°以下。

1）计算公式：

$$B = H \times \frac{D-d}{2L} = \frac{H}{2} \times \frac{D-d}{L}$$

或
$$B = \frac{H}{2} \times C$$

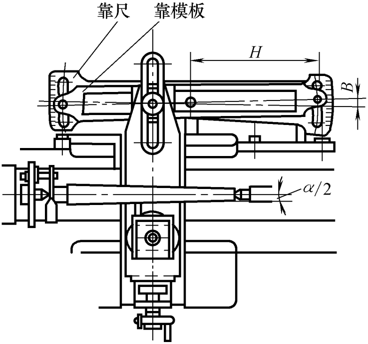


图 1-18　用靠模板车削锥体

1—靠尺　2—靠板

H—靠模板转动中心到刻线处的距离，称为支距

$\frac{\alpha}{2}$—靠模板旋转角度，它等于圆锥体的斜角，

计算公式与小刀架转动角度相同

B—靠模板的偏动量

例 1　已知圆锥体最大圆锥直径 $D=400\text{mm}$，最小圆锥直径 $d=350\text{mm}$，圆锥长度 $L=250\text{mm}$，靠模板的支距 $H=500\text{mm}$，求靠模板的偏移量 B。

解　$B=\frac{H}{2}\times\frac{D-d}{L}=\frac{500}{2}\times\frac{400-350}{250}\text{mm}=50\text{mm}$

例 2　车一圆锥体，$C=1:15$，$H=180\text{mm}$，求靠模板偏移量 B。

解 $B=\frac{H}{2}\times C=\frac{180}{2}\times\frac{1}{15}\text{mm}=\frac{180}{30}\text{mm}=6\text{mm}$

例 3 圆锥体的尺寸同例1，求靠模板的旋转角度 $\frac{\alpha}{2}$。

解 $\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L}=\frac{400-350}{2\times250}=0.1$

查三角函数表 $\tan5°42'=0.09981$

$\tan5°44'=0.10040$

取平均值 $\tan5°43'=0.10011$

所以 $\frac{\alpha}{2}\approx5°43'$

2）车标准锥度和常用锥度时，小刀架和靠模板转动角度见表 1-16。

表 1-16 车标准锥度和常用锥度时小刀架和靠模板转动角度

分类		基本值	小刀架和靠模板转动角度（锥体斜角）
莫氏	0	1∶19.212	1°29′27″
	1	1∶20.047	1°25′43″
	2	1∶20.020	1°25′50″
	3	1∶19.922	1°26′16″

（续）

分类		基本值	小刀架和靠模板转动角度（锥体斜角）
莫氏	4	1∶19.254	1°29′15″
	5	1∶19.002	1°30′26″
	6	1∶19.180	1°29′36″
标准锥度	30°	1∶1.866	15°
	45°	1∶1.207	22°30′
	60°	1∶0.866	30°
	75°	1∶0.652	37°30′
	90°	1∶0.5	45°
	120°	1∶0.289	60°
		1∶200	0°08′36″
		1∶100	0°17′11″
		1∶50	0°34′23″
		1∶30	0°57′17″
		1∶20	1°25′56″
		1∶15	1°54′33″
		1∶12	2°23′09″
		1∶10	2°51′45″
		1∶8	3°34′35″
		1∶7	4°05′08″
		1∶5	5°42′38″
		1∶3	9°27′44″
专用锥度		7∶24	8°17′46″

（3）用偏移尾座车削圆锥体

当工件精度要求不高，锥体较长，而锥度又较小时，可采用偏移尾座法车削锥体（图 1-19）。这种方法适用于任何卧式车床，可以采用自动进刀车削锥面，工件表面粗糙度值较差，但因顶尖在中心孔中歪斜，接触不良，所以中心孔磨损不均。受尾座偏移量限制、不能车削锥角大的工件，也不能车削锥孔及整锥体。

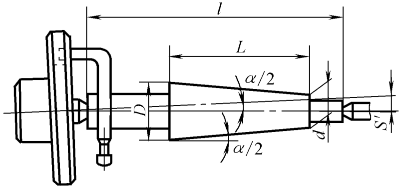


图 1-19　用偏移尾座车削锥体

偏移量 S'的计算公式：

当工件全长 l 不等于锥形部分长度 L 时：

$$S' = \frac{l}{2} \times \frac{D-d}{L}$$

$$S' = \frac{l}{2}C \text{ 或 } S' = lS$$

当工件全长 l 等于锥形部分长度 L 时：

$$S' = \frac{D-d}{2}$$

例 1 已知一圆锥体 $D=80\text{mm}$；$d=75\text{mm}$；$L=100\text{mm}$；$l=120\text{mm}$，求尾座偏移量 S'。

解 $S'=\dfrac{l}{2}\times\dfrac{D-d}{L}=\dfrac{120}{2}\times\dfrac{80-75}{100}\text{mm}=3\text{mm}$

例 2 已知一圆锥体 $D=30\text{mm}$，$C=1:20$，$L=60\text{mm}$，$l=80\text{mm}$，求尾座偏移量 S'。

解 $S'=\dfrac{l}{2}C=\dfrac{80}{2}\times\dfrac{1}{20}\text{mm}=2\text{mm}$

根据计算出来的偏移量 S'，利用尾座本身的刻度，把尾座上部偏移后即可车削。偏移时也可采用百分表或其他方法来控制尺寸 S'。

（4）用宽刀刃车削圆锥体

在车削较短的圆锥面时，也可以用宽刃刀直接车出（图 1-20）。宽刃刀的刀刃必须平直，刀刃与主轴轴线的夹角应等于工件圆锥斜角 $\alpha/2$，使用宽刃刀车圆锥面时，车床必须具有很好的刚性，否则容易引起振动。

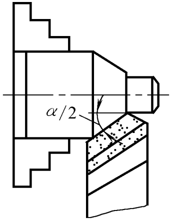
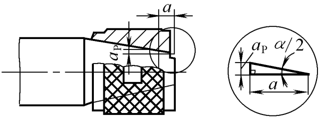


图 1-20 用宽刀刃车削圆锥体

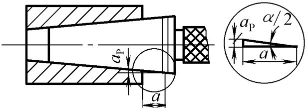
3. 车削圆锥时尺寸的控制方法

在车削圆锥工件时，一般是用套规或塞尺检验工件的锥度和尺寸。当锥度已车准，而尺寸未达到要求时，必须再进刀车削。当用量规测量出长度 a 后（图 1-21），可用以下方法确定横向进刀量。

1）计算法：



a)



b)

图 1-21　圆锥尺寸控制方法

a）车圆锥体　b）车圆锥孔

$$a_p = a \cdot \tan\frac{\alpha}{2} \text{或} a_p = a \cdot \frac{C}{2}$$

式中　a_p——当界限量规刻线或阶台中心还离工件端面的距离为 a 时的进刀深度（mm）；

$\frac{\alpha}{2}$——圆锥斜角；

C——锥度。

例 1　已知工件的圆锥斜角$\frac{\alpha}{2}=1°30'$，用套规测量时，工件小端离套规阶台中心为 4mm。问进刀量多少才能使小端直径尺寸合格？

解 $a_p=a\cdot\tan\dfrac{\alpha}{2}=4\times\tan1°30'\text{mm}$

$=4\times0.02619\text{mm}=0.105\text{mm}$

例 2 已知工件锥度为1∶20，用套规测量工件小端时，小端离套规阶台中心为2mm，问进刀深度多少才能使小端直径尺寸合格？

解 $a_p=a\cdot\dfrac{C}{2}=2\times\dfrac{\frac{1}{20}}{2}\text{mm}=2\times\dfrac{1}{40}\text{mm}=0.05\text{mm}$

2）移动床鞍法。当用界限量规量出长度 a 后（图1-22），取下量规，使车刀轻轻接触工件小端面，接着移动小滑板，使车刀离开工件端面一段a的距离，然

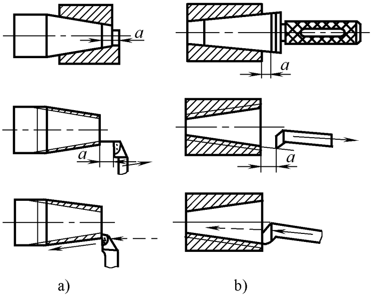


图 1-22 移动床鞍法

a）车圆锥体 b）车圆锥孔

后移动床鞍使车刀同工件端面接触，这时即可进行车削。

4. 车削圆锥面时产生废品的原因及预防方法（表1-17）

表 1-17 车削圆锥面时产生废品的原因及预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
锥度（角度）不正确	1. 用转动小拖板车削时 （1）小拖板转动角度计算错误 （2）小拖板移动时松紧不均匀	（1）仔细计算小拖板应转的角度和方向，并反复试车校正 （2）调整塞铁使小拖板移动均匀
	2. 用偏移尾座法车削时 （1）尾座偏移位置不正确 （2）工件长度不一致	（1）重新计算和调整尾座偏移量 （2）如果工件数量较多，各件的长度必须一致
	3. 用靠模法车削时 （1）靠模角度调整不正确 （2）滑块与靠模板配合不良	（1）重新调整靠模板角度 （2）调整滑块和靠模板之间的间隙

（续）

废品种类	产生原因	预防方法
锥度（角度）不正确	4. 用宽刃刀车削时 （1）装刀不正确 （2）刀刃不直	（1）调整刀刃的角度和对准中心 （2）修磨刀刃的平直度
	5. 铰锥孔时 （1）铰刀锥度不正确 （2）铰刀的安装轴线与工件旋转轴线不同轴	（1）修磨铰刀 （2）用指示表和试棒调整尾座中心
大小端尺寸不正确	没有经常测量大小端直径	经常测量大小端直径，并按计算尺寸控制背吃刀量
双曲线误差	车刀没有对准工件中心	车刀必须严格对准工件中心

四、车削偏心工件

在机械传动中，回转运动变为往复直线运动或直线运动变为回转运动，一般都是用偏心轴或曲轴（曲轴是形状比较复杂的偏心轴）来完成的。

偏心轴即工件的外圆和外圆之间的轴线平行而不相重合。偏心套即工件的外圆和内孔的轴线平行而不相重合，这两条轴线之间的距离称为“偏心距”。

车削偏心工件时，应根据工件的不同数量、形状和精度要求相应地采用不同的装夹方法，但应保证所要加工的偏心部分轴线与车床主轴旋转轴线重合。

1. 车削偏心工件常用方法

(1) 用四爪单动卡盘车削偏心工件

这种方法适于加工偏心距较小、精度要求不高、形状较短、数量较少的偏心工件。其加工步骤如下：

1) 画线（图 1-23）。先测定出已车好光轴的实际直径尺寸，再将光轴放在平台上的 V 形块上，用高度游标卡尺测到光轴的最高点。再减去光轴实际直径尺寸的一

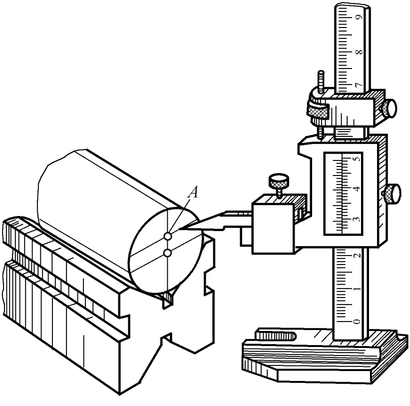


图 1-23　划十字线和偏心圆线

半（即半径）后锁紧高度尺的游标，在工件的端面和四周画出轴线。

把工件转过 90°，用 90° 角尺对齐已画好的轴线，再用原调整好的高度画线尺在工件周围画出一圈十字轴线。

把高度画线尺的游标上移一个需要的偏心距，并在两端面画出偏心轴线。偏心距中心画出以后，用划规画出一个偏心圆。

2）装夹、校正。如图 1-24 及图 1-25 所示，在床面上放一块小平板，用划针盘进行校正。采用十字线校正

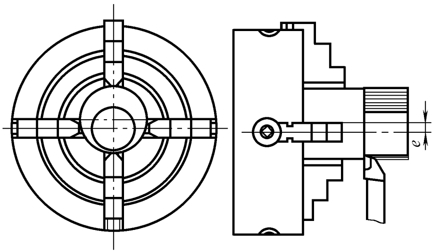


图 1-24　在四爪单动卡盘上装夹偏心工件

法，先校正偏心圆，使其中心与旋转中心一致。然后自左向右校正外圆上的水平线。用同样的方法转 90° 校正另一条水平线，反复校正到符合要求为止。如果工件的偏心距换算成外圆跳动量在指示表的量程范围内，也可

直接用指示表校正。其外圆的圆跳动量等于偏心距的两倍。

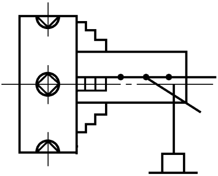


图 1-25　校正工件在水平和垂直方向的位置

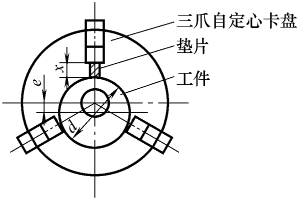


图 1-26　用三爪卡盘装夹偏心工件

3）车削。校正后夹紧工件。由于工件的回转是不圆整的，车刀必须从最高处开始车削，否则会损坏车刀。

（2）用三爪自定心卡盘车削偏心工件（图 1-26）

这种方法适于加工数量较大、长度较短、偏心距较小及精度要求不高的偏心工件。装夹工件时，应在三爪自定心卡盘中的一个爪上加上垫片。垫片厚度的计算公式如下：

$$x = 1.5e \pm K$$

$$K = 1.5\Delta e$$

式中　x——垫片厚度（mm）；

e——偏心工件的偏心距（mm）；

K——偏心距修正值，正负值按实测偏心距的大、小结果确定；

Δe——试切后实测偏心误差。

例 用三爪自定心卡盘车削一偏心工件，$d=50\text{mm}$，$e=4\text{mm}$，求垫片厚度。

解 $x=1.5e=1.5\times4=6\text{mm}$

然后按计算选用 6mm 的垫块垫入三爪中某一夹爪与工件之间进行试车，接着就检查偏心距。

若试切后实测偏心距为：4.04mm

$$\Delta e = 4.04 - 4 = 0.04\text{mm}$$

$$K = 1.5 \times 0.04 = 0.06\text{mm}$$

则垫片实际尺寸为：

$$x = 1.5e - K = 6 - 0.06 = 5.94\text{mm}$$

（3）用双卡盘车削偏心工件（图 1-27）

这种方法适于加工长度较短、偏心距较小及数量较大的偏心工件。

加工前应先调整偏心距，首先用一根加工好的心轴装夹在三爪自定心卡盘上，并校正。然后调整四爪单动卡盘，将心轴中心偏移一个工件的偏心距。卸下心轴，就可以装夹工件进行加工。这种方法的优点是一批工件中只需校正一次偏心距；缺点是两个卡盘重叠在一起，刚性较差。

（4）用花盘车削偏心工件（图 1-28）

这种方法适用于加工长度较短、偏心距较大及精度要求不高的偏心工件。

在加工偏心孔前，先将工件外圆、两端面加工至要求后，在一端面上画好偏心孔的位置，然后用压板均匀地把工件装夹在花盘上，用划针盘进行校正后压紧，即可车削。

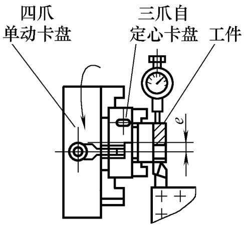


图 1-27　用双卡盘装夹偏心工件

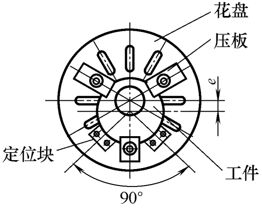


图 1-28　用花盘装夹偏心工件

（5）用偏心卡盘车削偏心工件（图 1-29）

这种方法适于加工短轴、盘、套类的较精密的偏心工件。偏心卡盘分两层，花盘 2 用螺钉固定在车床主轴的连接盘上，偏心体 3 与花盘的燕尾槽相互配合，其上装有三爪自定心卡盘 5。用丝杠 1 调整卡盘的中心距，偏心距 e 的大小可在两个测量头 6、7 之间测量。当偏心距为零时，测量头 6、7 正好相碰。转动丝杠 1 时，测量头 7 逐渐离开测量头 6，离开的尺寸即是偏心距。当偏心距调整好后，用 4 个螺钉 4 紧固，把工件装夹在三爪自定心卡盘上，即可进行车削。其优点是装夹方便，能保证加工质量，并能获得较高的精度，通用性强。

（6）用两顶尖车削偏心工件（图 1-30）

这种方法适于加工较长的偏心工件。在加工前应按前面说的方法在工件两端先画出中心点的中心孔和偏心点的中心孔，并加工出中心孔，然后用前后顶尖顶住便可进行车削。

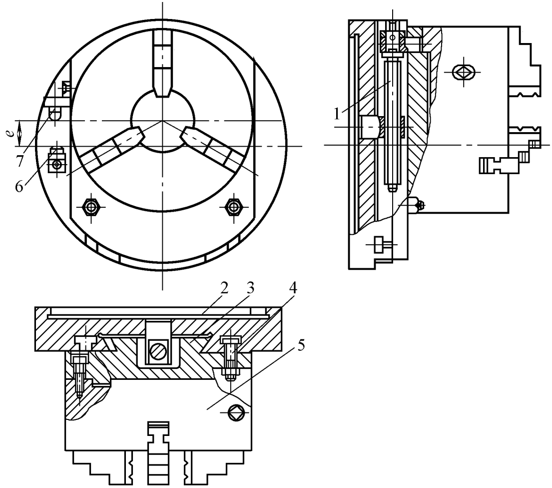


图 1-29　偏心卡盘

1—丝杠　2—花盘　3—偏心体　4—螺钉
5—三爪自定心卡盘　6、7—测量头

若偏心轴的偏心距较小，在钻偏心中心孔时可能跟主轴中心孔相互干涉。这时可按图 1-31 增加工艺搭子，即把工件的长度放长两个中心孔的深度。加工时，可先把毛坯车成光轴，然后车去两端中心孔至工件长度，再划中心孔线，钻偏心中心孔，车偏心轴。

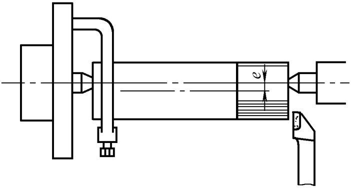


图 1-30 用两顶尖装夹偏心工件

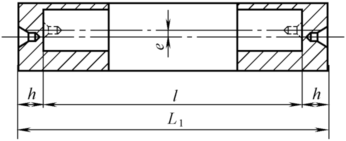


图 1-31 增加工艺搭子

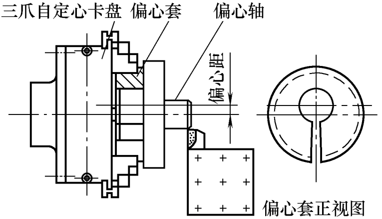
（7）用专用夹具车削偏心工件（图 1-32）

这种方法适用于加工精度要求高而且批量较大的偏心工件。加工前应根据工件上的偏心距加工出相应的偏心轴或偏心套，然后将工件装夹在偏心套或偏心轴上进行车削。

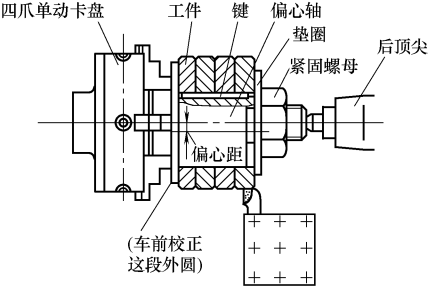
2. 测量偏心距的方法

（1）用心轴和指示表测量（图 1-33）

这种测量方法适用于精度要求较高而偏心距较小的偏心工件。用指示表测量偏心工件是以孔作为基准面，用一夹在三爪自定心卡盘上的心轴支承工件。指示表的触头指在偏心工件的外圆上，将偏心工件的一个端面靠在卡爪上，缓慢转动；指示表上的读数应该是两倍的偏心距，否则工件的偏心距就不合格。



a)



b)

图 1-32　车削偏心用专用夹具

a）用偏心套车偏心轴　b）用偏心轴车偏心套

（2）用等高 V 形架和指示表测量（图 1-34）

用指示表测量偏心轴时,可将工件放在平板上两个等高的 V 形架上支承偏心轴颈，指示表触头指在偏心外圆上，缓慢转动偏心轴。指示表上的读数也应该等于两倍偏心距。

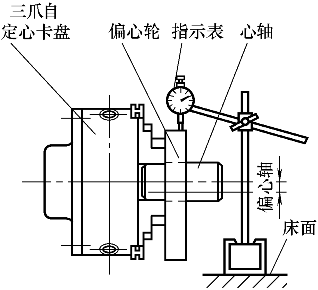


图 1-33　用心轴和指示表测量偏心轴

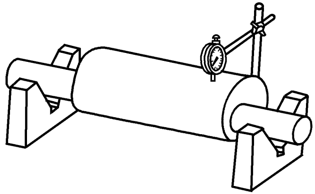


图 1-34　用等高 V 形架和指示表测量偏心轴

以上两种方法中，指示表也可装在游标高度尺上配合使用（图 1-35），以扩大测量范围。

（3）用两顶尖孔和指示表测量（图 1-36）

这种方法适用于两端有中心孔、偏心距较小的偏心轴测量。其测量方法是将工件装夹在两顶尖之间，指示表的触头指在偏心工件的外圆上，用手转动偏心轴，指

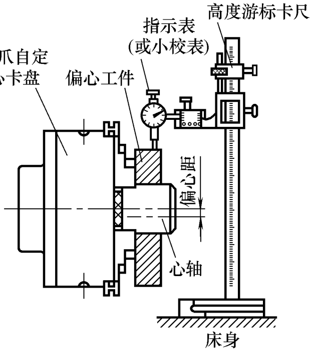


图 1-35　指示表与高度游标卡尺配合测量偏心工件

示表上的读数应是偏心距的两倍。

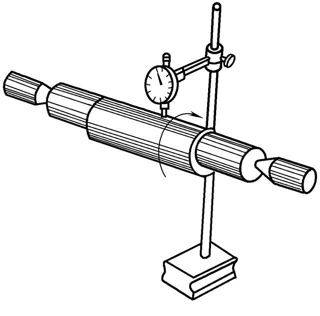


图 1-36　在两顶尖上测量偏心工件

偏心套的偏心距也可用上述方法来测量，但是必须

将偏心套装在心轴上才能测量。

（4）用 V 形架间接测量（图 1-37）

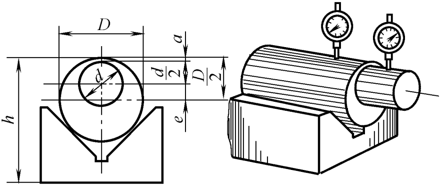


图 1-37　间接测量偏心距的方法

偏心距较大的工件，因受指示表测量范围的限制，可用间接测量偏心距的方法，把工件放在平板上的 V 形架上，转动偏心轴，用指示表量出偏心轴的最高点，工件固定不动，再水平移动指示表测出偏心轴外圆到基准轴外圆之间的距离 a，然后用下式计算出偏心距 e：

$$D/2 = e + d/2 + a$$

$$e = D/2 - d/2 - a$$

式中　e——偏心距（mm）；

D——基准轴直径（mm）；

d——偏心轴直径（mm）；

a——基准轴外圆到偏心轴外圆之间的最小距离（mm）。

用这种方法，必须把基准轴直径和偏心轴直径用千分尺测量出正确的实际尺寸，否则计算时会产生误差。

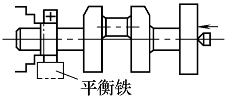
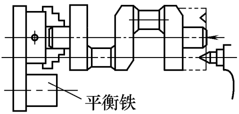
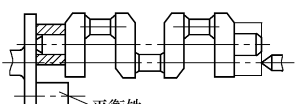
3. 车削曲轴的装夹方法

曲轴实际就是多拐偏心轴，其加工原理跟加工偏心

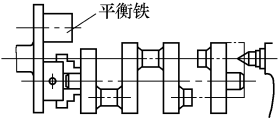
轴基本相同，常采用的装夹方法见表 1-18。

大型多拐曲轴，一般为锻件（锻钢）或铸件（铸钢或球墨铸铁）。加工这类曲轴时，一般在带有偏心卡盘的专用曲拐车床上。当采用大型普通机床时，应设计制造专用工装，其中包括对机床尾座的改装，以提高装夹刚性。

表 1-18　车削曲轴的装夹方法

曲轴形式	装夹方法简图	说　　明
单拐曲轴		主轴一端用卡盘夹轴颈，尾座一端用顶尖顶夹法兰盘，加工轴颈。并配有配重
双拐曲轴		主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距，夹其轴颈。尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈
三拐曲轴		主轴一端按偏心距配作专用夹具装夹轴颈，尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈

（续）

曲轴形式	装夹方法简图	说　　明
多拐曲轴		主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距，夹其轴颈。尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈

五、车削成形面

有些机器零件的表面不是直线，而是由若干个曲面组成的，如手轮、手柄、圆球和凸轮等，这类表面称为成形面（也称特形面）。对于这类零件的加工，应根据零件的特点、精度要求及批量的大小等情况，分别采用不同的方法进行加工。

1. 用双手赶刀方法车削成形面

对数量较少或单个零件，可采用双手赶刀方法进行车削。就是用右手握小拖板手柄，左手握中拖板手柄，通过双手合成运动，车出成形面。或者采用大拖板和中拖板合成运动来进行车削。车削的要点是双手摇动手柄的速度配合要恰当。

这种方法的优点是，不需要其他特殊工具就能车出

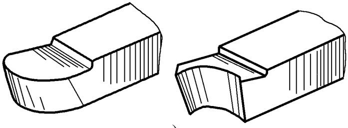
一般精度的成形面零件。

2. 用成形刀（样板刀）**的车削方法**

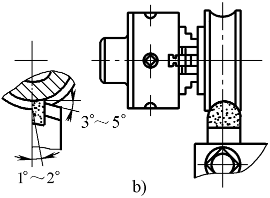
这种方法是将切削刀具刃磨成工件特形面的形状，从径向或轴向进给，将特形面加工成形的方法。也可将工件的特形面划分成几段，将几把车刀按各分段面的形状刃磨，分别将整个特形面分段加工成形。

（1）普通成形刀（图1-38）

这种成形刀的切削刃廓形根据工件的成形表面刃磨，刀体结构和装夹与普通车刀相同。这种刀具制作方便，可用手工刃磨，但精度较低，若精度要求较高时，可在工具磨床上刃磨。这种成形车刀常用于加工简单的成形面。



a)



b)

图1-38　普通成形刀和使用方法

a）整体成形车刀

b）整体成形车刀的使用方法

（2）棱形成形刀（图 1-39）

这种成形刀由刀头和刀杆两部分组成。刀头的切削刃按工件的形状在工具磨床上用成形砂轮磨削成形。后部有燕尾块，用来安装在弹性刀杆的燕尾槽中，用螺钉紧固。刀杆上的燕尾槽做成倾斜，这样成形刀就产生了后角，刀刃磨损时，只要刃磨刀头的前面。刀刃磨低后，可以把刀头向上拉起，直至刀头无法夹住为止。这种成形刀精度高，刀具寿命长，但制造比较复杂。

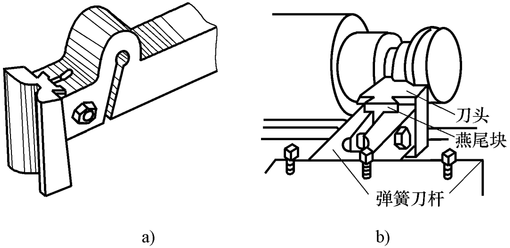


图 1-39　棱形成形刀和使用方法

a）棱形成形刀　b）棱形成形刀的使用方法

（3）圆形成形刀（图 1-40）

这种成形刀做成圆轮形，在圆轮上开有缺口，使它形成前面和主切削刃。使用时，将它装夹在弹性刀杆上。为了防止圆轮转动，在侧面做出端面齿，使之与刀杆侧面上的端面齿相啮合。圆形成形刀的主切削刃必须比圆轮中心低一些，否则后角为零度（图 1-41a）。主切削刃低于圆轮中心的距离（图 1-41b）可用下式计算：

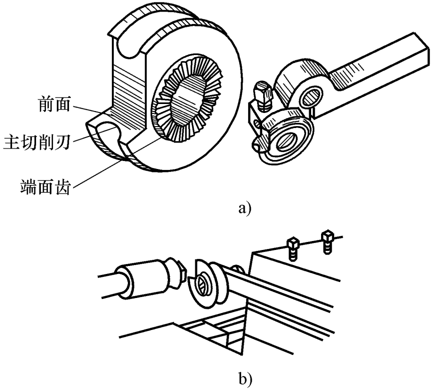


图 1-40　圆形成形刀和使用方法

a）圆形成形刀　b）圆形成形刀的使用方法

$$H = \frac{D}{2}\sin\alpha_0$$

式中　H——刃口低于中心的距离（mm）；

D——圆形成形刀直径（mm）；

α_0——成形刀的后角（一般为 6°～10°）。

（4）分段切削成形刀

这种成形刀是按加工零件的特殊形面分段制成的。如图 1-42 所示为一冲模的冲头，由于特形面母线较长，若用一把成形刀车削，加工切削抗力太大，所以将特形面分成 *AB*、*BC*、*CD* 和 *DE* 4 段，采用 4 把对应各段形状的成形刀进行切削（图 1-43）。

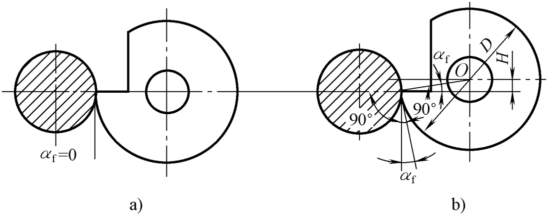


图 1-41　圆形成形刀的后角

加工时必须先粗车，然后再用成形刀精车连接，精车时一般采用手动进给，机床转速取低速，进刀速度也不宜太快。

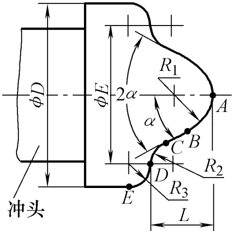


图 1-42　冲头

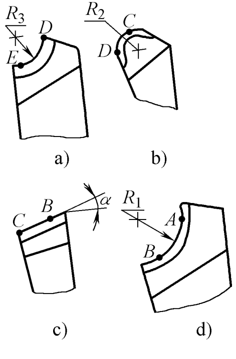


图 1-43　分段切削的成形刀

a）车削 *DE* 段　b）车削 *CD* 段　c）车削 *BC* 段　d）车削 *AB* 段

3. 靠模法车削成形面

（1）用靠模板方法车削成形面

在车床上用靠模板方法车削成形面，实际上和用靠模车圆锥的方法基本上相同。只需把锥度靠模板换上一个带有成形面的靠模板就行了。

如图 1-44 所示，用靠模车削成形面 1，先将靠模支架 5 和靠模板 4 装上，靠模板 4 是一条曲线沟模，它的形状与工件成形面相同。滚柱 3 通过拉杆 2 与中滑板连接（这时已将中滑板丝杠抽去），当床鞍做纵向运动时，滚柱 3 沿着靠模板 4 的曲线沟槽移动，使车刀刀头做相应的曲线移动，这样就完成了成形面的加工。

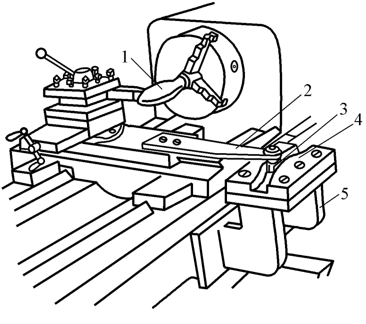


图 1-44　用靠模法车削成形面

1—成形面　2—拉杆　3—滚柱

4—靠模板　5—支架

这种用靠模板车削成形面方法，操作方便、形面准确、质量稳定，但只能加工成形面变化不大的工件。

（2）用尾座装靠模方法车削成形面

用尾座装靠模方法加工成形面如图 1-45 所示。在尾座套筒锥孔内装夹一个标准样件（即靠模），在刀架上装一个长刀夹，在刀夹上装车刀和靠模杆。车削时用双手操纵中、小拖板，使靠模杆始终贴住靠模，并沿着靠模表面移动，使车刀在工件表面上车出与靠模形状相同的成形面。这种方法简单，在一般车床上都可采用。

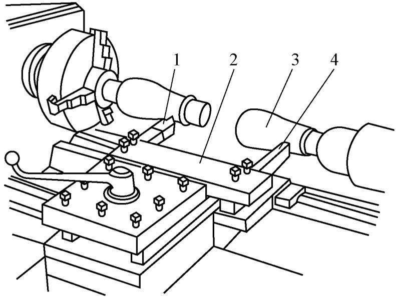


图 1-45　用尾座装靠模方法车削成形面

1—车刀　2—长刀夹　3—靠模　4—靠模杆

（3）用横向靠模方法车削成形面

这种方法是用来车削工件端面上的成形面的，如图 1-46 所示。

靠模 6 装夹在尾座套筒锥孔内的夹板 7 上，用螺钉 8 紧固。把装有刀杆 2 的刀夹 3 装夹在方刀架上，滚轮 5 紧靠住靠模 6，由弹簧 4 来保证。为了防止刀杆 2 在刀夹 3 中转动，在刀杆 2 上铣一键槽，用键 9 来保证。车削时，中滑板自动进给，滚轮 5 沿着靠模 6 的曲线表面横向移动，车刀 1 即车出工件 10 的成形端面来。

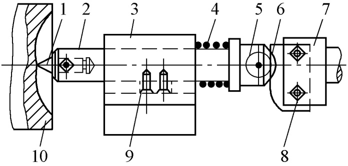


图 1-46　用横向靠模方法车削成形面

1—车刀　2—刀杆　3—刀夹　4—弹簧　5—滚轮
6—靠模　7—夹板　8—螺钉　9—键　10—工件

六、车削球面

采用车削方法加工球面的原理是：一个旋转的刀具沿着一个旋转的物体运动，两轴线相交，但又不重合，那么刀尖在物体上形成的轨迹则为一球面。车削时，工件中心线与刀具中心线要在同一平面上。

其加工方法是将卧式车床的小滑板卸去，在滑板上安装上能进行回转运动的专用工具，来车削内、外圆弧

和球面，而且可采用手动或自动车削（旋风铣）[⊖]。

1. 用蜗杆副传动装置手动车削外球面（图 1-47）

用手动转动蜗杆轴上的手柄车出球面，适用于车削 $\phi30\sim\phi80$mm 的外球面，形状精度可达 0.02mm，表面粗糙度小于 $Ra1.6\mu m$。

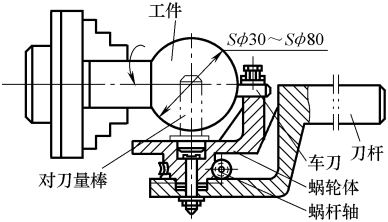


图 1-47　车削外球面工具

2. 用蜗杆副传动装置手动车削内球面（图 1-48）

用手动转动蜗杆轴上的手柄，车出球面，适用于车削 $\phi30\sim\phi80$mm 的内球面，形状精度可达 0.02mm，表面粗糙度小于 $Ra1.6\mu m$。

七、车削表面的滚压加工

滚压加工是一种对机械零件表面进行光整和强化加工的工艺。在车床上应用滚压工具在工件表面作相对滚

⊖　用旋风铣方法车削球面，见第三章、五铣削球面。

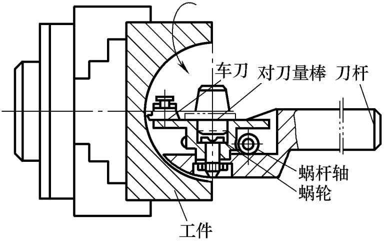


图 1-48　车削内球面工具

动，施加一定的压力，强行滚压，使金属表层产生塑性变形，修正工件表面的微观几何形状，降低表面粗糙度，同时提高工件的表面硬度、耐磨性和抗疲劳强度。这种方法主要用于大型轴类、套筒类零件的内、外旋转表面的加工，滚压螺钉、螺栓等零件的螺纹，以及滚压小模数齿轮和滚花加工等。

1. 滚压加工常用工具及应用（表 1-19）

2. 滚轮式滚压工具常用滚轮外圆形状及应用

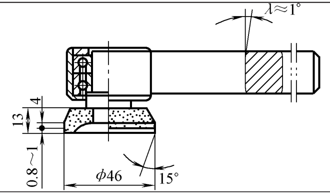
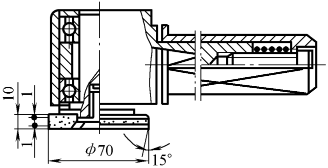
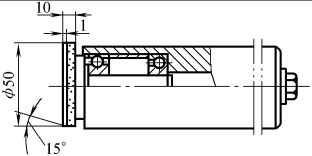
（1）带圆柱形部分宽度 b 和斜角的滚轮（图 1-49）

这种滚轮适用于滚压长度不受限制的圆柱面或平面，滚压小零件时，$b=2\sim5$mm；滚压大零件时，$b=12\sim15$mm。

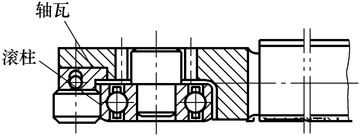
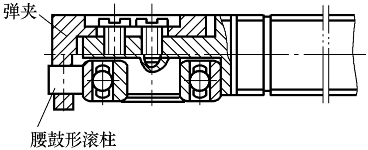
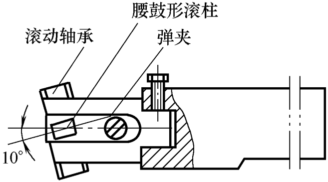
（2）具有半径 R 的球形面滚轮（图 1-50）

这种滚轮适用于滚压刚度较差的零件。圆柱面或平面的长度不受限制。

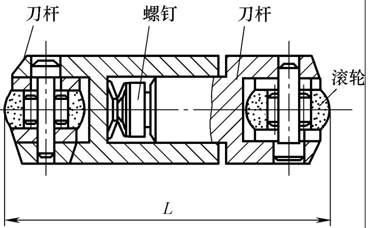
表 1-19　滚压加工常用工具及应用

形式	结构示意图		特点	注意事项
硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具	滚压小尺寸外圆		1）具有滚辗和滚研压两种效应，滚压效果较好 2）滚轮外径较大，减小了滚轮的转速，使滚轮寿命增加，且可采用较高的滚压速度 3）滚压时，无需加油润滑、冷却 4）能滚压台阶轴、短孔、不通孔等塑性材料的工件	1）工具的滚轮轴线应相对工件轴线在垂直平面内，顺时针方向倾斜 λ＝1°左右，使其具有楔入及滚研压效应 2）安装工具时，应使滚轮轴线相对工件轴线在水平面内顺时针方向倾斜1°左右（目测时，滚轮形面与工件的实际接触宽度约3～4mm），以使工件表面的弹性变形区逐渐复原、挤光 3）滚轮的滚辗压角 γ≈10°～14°，以保证顺利楔入工件进行滚辗 4）滚压前，工件表面和滚轮形面应保持清洁无油污。工件表面不应有局部缩孔或硬化现象
	滚压大尺寸外圆			
	滚压内孔			

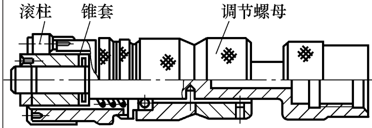
（续）

形式		结构示意图	特点	注意事项
滚柱式内、外圆滚压工具	滚压外圆		1）具有较大的滚研压效应 2）滚柱与工件的接触面小，滚压时，无需施加很大的压力 3）不宜滚压、经调质处理的硬度高的工件，对不通孔和有台阶的内孔，不能滚压到底	1）安装工具时，滚柱对准工件中心，并使滚柱轴线相对工件轴线在垂直平面上顺时针方向倾斜一个 λ 角度 外圆滚压 $\lambda=15°\sim30°$ 内孔滚压 $\lambda=5°\sim25°$ 中小孔滚压 $\lambda=10°$ 2）滚柱与弹夹的配合间隙不宜过大，一般在0.1mm左右，否则工件表面会产生振动痕迹
	滚压大孔			
	滚压小孔			

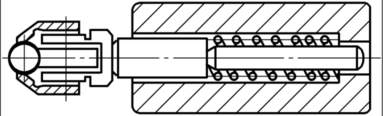
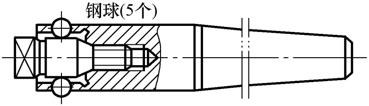
（续）

形式		结构示意图	特点	注意事项
硬质合金YZ型深孔滚压工具	滚压深孔		1）为加工不同尺寸范围的孔径，滚压工具可调节或改组成不同长度的规格（$L=80\sim95$mm，$95\sim110$mm，$110\sim230$mm） 2）采用弹性方式滚压，压力均匀，调整方便 3）在滚轮进给方向前面装有滚压导向部分，能保持滚压后的表面粗糙度	1）成组碟形弹簧应采取面对面“《》”或背对背“》《”的装法 2）滚轮材料为YG6X，其形面可在工具磨床上用碗形砂轮磨出，然后用海绵醮研磨膏研磨

（续）

形式	结构示意图		特点	注意事项
圆锥滚柱深孔滚压工具	滚压深孔		1）采用圆锥形滚柱形面，滚压时，滚柱与工件具有30′~1°的斜角，使工件的弹性变形区逐渐复原以降低孔壁的表面粗糙度 2）与钢珠形面相比，它同工件的接触面增大，从而可加大进给量	1）滚压时，应采用切削液，它可由50%硫化切削液+50%柴油或全损耗系统用油、煤油配制而成 2）滚柱的压入深度可由调节螺母调整，调节螺母旋转一圈，滚压头直径方向的增减量 $x = 2 \times 1.5 \times \tan 30' = 0.0262\text{mm}$。 式中，调节螺母的螺距=1.5mm 心轴锥套圆锥体斜角=30′

（续）

形式	结构示意图		特点	注意事项
滚珠式滚压工具	滚压外圆		1）采用滚动轴承的滚珠，具有高精度、高硬度及低表面粗糙度等优点 2）滚珠与工件的轴向摩擦力小，因而滚压工具的轴向负荷小 3）滚压内孔的滚压工具，其直径大小可以调节	1）为使滚珠和工件之间的摩擦力大于滚珠和支承之间的摩擦力，滚珠应支承在一个或两个滚动轴承的外环上 2）弹性滚压工具用于滚压精度不太高的场合
	滚压内孔			

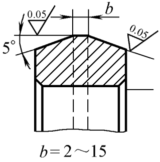


图 1-49　带圆柱形部分宽度 *b* 和斜角的滚轮

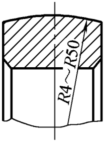


图 1-50　具有半径 *R* 的球形面滚轮

（3）凸出部分具有半径 *R* 的球形面滚轮（图 1-51）

这种滚轮适用于滚压零件上的凹槽或凹圆角。

（4）具有综合形状的滚轮（图 1-52）

这种滚轮适用于滚压零件上的端面（*a* 部分）；滚压凹形面（*R* 部分）；滚压圆柱面（*b* 部分）。

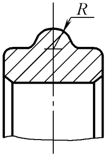


图 1-51　凸出部分具有半径 *R* 的球形面滚轮

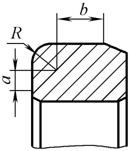


图 1-52　具有综合形状的滚轮

（5）滚压特殊形状表面的滚轮（图 1-53）

这种滚轮适用于滚压特殊形状的零件。

滚轮材料可采用 T12A、CrWMn、Cr12 和 5CrNiMn。热处理硬度为 58～65HRC。也可采用硬质合金。

滚轮一般支承在滚动轴承上。滚轮的表面粗糙度一般在 *Ra*0.2μm 以下，滚轮与相配合的心轴的同轴度误差应小于 0.01mm。

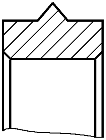


图 1-53 滚压特殊形状表面的滚轮

3. 加工方法

滚轮滚压可加工圆柱形或锥形的外表面和内表面，曲线旋转体的外表面、平面、端面、凹槽、台阶轴的过渡圆角等（图 1-54）。

滚压用的滚轮数有一个滚轮、两个滚轮或三个滚轮。单一滚轮滚压只能用于具有足够刚度的工件。若工件刚度较小，则需用两个或三个滚轮在相对的方向上同时进行滚压，以免工件弯曲变形（图 1-55）。

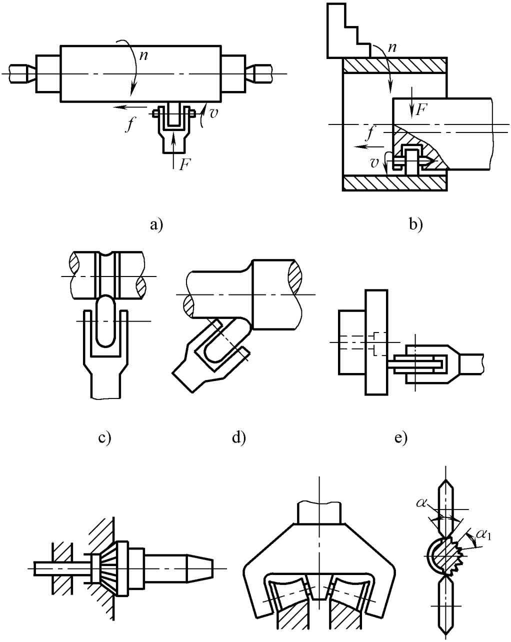
滚轮滚压加工的表面质量主要取决于下列各项因素：

（1）滚轮或滚柱的制造精度越高，滚压后工件的质量越好

滚轮或滚柱的表面粗糙度一般要求 *Ra*0.4μm 以下。此外还应使它们与其他零件达到较高的配合精度。如滚轮与心轴的轴线间位置度要求应小于 0.01mm。

（2）工件表面原始粗糙度越低，滚压后的表面质量也越好

一般滚压前工件表面的预加工，建议采用精车、精镗或精铣。预加工后工件若用滚柱式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度应为 *Ra*0.63μm 以下；预加工后工件若用滚轮式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度应为 *Ra*12.5μm 以下。



a) b) c) d) e) f) g) h)

图 1-54　滚轮滚压示例

a）滚压圆柱形外表面　b）滚压圆柱形内表面
c）滚压圆柱凹槽　d）滚压过渡圆角　e）滚压端面
f）滚压锥形孔　g）滚压形面　h）滚压直槽

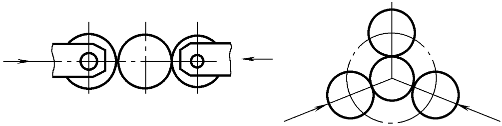


图 1-55　多滚轮滚压圆柱形外表面示意

a）双滚轮　b）三滚轮

（3）滚压参数的选择

1）压入深度 a。即压入前后工件半径的变化值。压入深度 a 过小，滚压后工件的表面粗糙度值高；压入深度 a 过大，容易使工件表面产生粘附、脱皮现象。压入深度由滚轮进给时的压力 F 控制。压力越大，压入深度也越大，两者大小均取决于工件直径尺寸、工件材料和滚压前工件表面粗糙度等因素。较合理的数值，可根据具体情况，由试验比较确定。一般 $a=0.01\sim0.02$mm 时，$F=500\sim3000$N。

2）进给量 f。进给量 f 过大，工件表面粗糙度越高；进给量 f 过小，工件表面因重复滚压容易产生疲劳裂纹，也会降低滚压质量，一般 $f=0.1\sim0.25$mm/r。滚压次数应以一次为宜，如用滚柱式滚压工具也可滚压两次。

3）滚压速度 v。滚压速度 v 在保证机床、滚压工具正常使用的情况下，宜采用较高的值，以利于提高滚压质量和生产率。

不同形式滚压工具的滚压速度（表 1-20）。

表 1-20　不同形式滚压工具的滚压速度

结构形式	滚压速度 v/（m/min）	
	外圆滚压	内孔滚压
硬质合金滚轮式滚压工具	80～150	
滚柱式滚压工具	<40	30～40
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	—	30～40
圆锥滚柱深孔滚压工具	—	60～80

（4）冷却和润滑

冷却润滑液可用全损耗系统用油、煤油、乳化油等，但必须过滤，保证清洁。

（5）清除杂物

滚压前要清除零件上的油脂、杂物和腐蚀痕迹等，以免影响滚压后质量。

4. 滚花

（1）花纹的种类及其尺寸（GB/T 6403.3—2008）

按标准规定，花纹有直纹和网纹两种。花纹的粗细由节距 p 来决定，滚花的标注方法及其尺寸见图 1-56 和表 1-21。

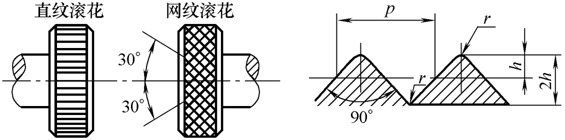


图 1-56　花纹种类及标注方法

标记示例：

1）模数 m = 0.3mm 直纹滚花：直纹 m0.3

2）模数 m = 0.4mm 网纹滚花：网纹 m0.4

表 1-21　滚花尺寸表

（单位：mm）

模数 m	h	r	节距 p
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571

注：表中 $h=0.785m-0.414r$。

（2）滚花刀的种类

滚花刀一般有单轮、双轮及六轮三种（图 1-57）。单轮滚花刀通常是滚压直纹用的。双轮滚花刀和六轮滚花刀用于滚压网纹，双轮滚花刀是由节距相同的一个左旋和一个右旋滚花刀组成一组。六轮滚花刀是把网纹模数 m 不等的三组双轮滚花刀，装在同一特制的刀杆上。

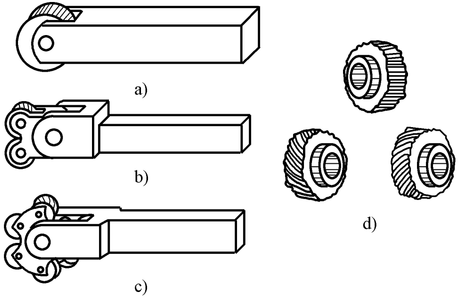


图 1-57　滚花刀的种类

a）单轮　b）双轮　c）六轮　d）滚轮

（3）滚花加工时应注意的几点

1）滚花时产生的背向力较大，使工件表面产生塑性变形，所以在车削外径时，应根据工件材料的性质和滚花节距 p 的大小，将滚花部位的外径车小约（0.2～0.5）p。

2）滚花前工件表面粗糙度应为 Ra12.5μm。

3）滚花刀的装夹应与工件表面平行。在滚花刀开始接触工件时，必须用较大的压力进刀，使工件圆周上一开始就形成较深的花纹，这样就不容易产生乱纹。这样来回滚压 1～2 次，直到花纹凸出为止。

为了减少开始时的径向压力，可用滚花刀宽度的 1/2或 1/3 进行滚压，或把滚花刀尾部装得略向左偏一些，使滚花刀与工件表面有一很小的夹角（类似车刀的副偏角），这样滚花刀就容易切入工件表面（图 1-58）。

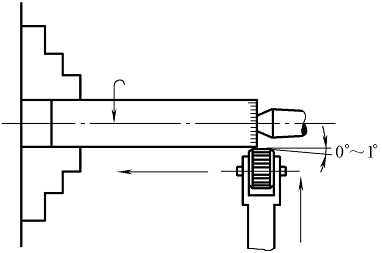


图 1-58　滚花刀的安装

4）滚花时应选择较低的切削速度。在滚压过程中，必须经常加冷却润滑油和清除切屑，以免损坏滚花刀和防止滚花刀被切屑滞塞而影响花纹的质量。

5）滚花后工件直径大于滚花前直径，其值$\Delta \approx$（0.8～1.6）m。

6）滚花一般在精车之前进行。

（4）滚花时产生乱纹的原因及预防方法（表1-22）

表1-22　滚花时产生乱纹的原因及预防方法

产生原因	预防方法
工件外径周长不能被滚花刀节距p除尽	可把外圆略车小一些
滚花开始时，吃刀压力太小，或滚花刀与工件表面接触面过大	开始滚花时就要使用较大的压力，把滚花刀偏一个很小的角度
滚花刀转动不灵，或滚花刀与刀杆小轴配合间隙太大	检查原因或调换小轴
工件转速太高，滚花刀与工件表面产生滑动	降低转速
滚花前没有清除滚花刀中的细屑，或滚花刀齿部磨损	清除细屑或更换滚轮

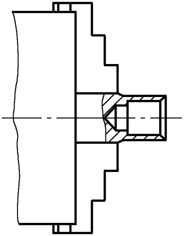
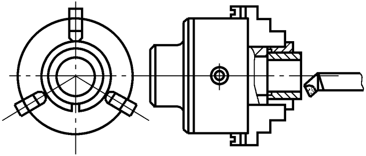
八、车削薄壁工件

车削薄壁工件时，由于工件的刚性差，在车削过程中受切削力和夹紧力的作用极易产生变形，影响工件的尺寸精度和形状精度。

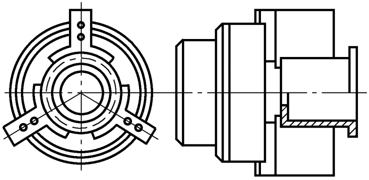
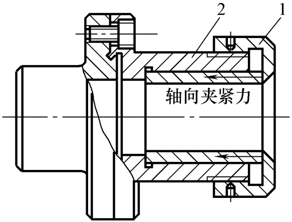
因此，合理地选择装夹方法、刀具几何角度、切削用量及充分地进行冷却润滑，都是保证加工薄壁工件精度的关键。

1. 工件的装夹方法（表1-23）。

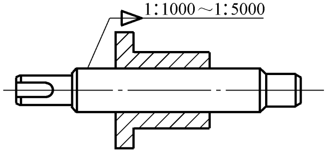
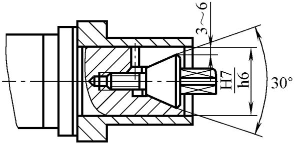
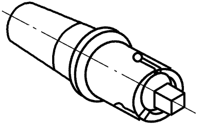
表 1-23　工件的装夹方法

装夹方法	简　　图	应用说明
增加工艺搭子		对薄壁套类工件,可在坯料上留有一定的夹持长度(工艺搭子),在工件一次装夹中完成内、外圆和一端面的加工后,切下工件,最后装夹在心轴上,车另一端面和倒角
开口套筒装夹		开口套筒接触面大,夹紧力均匀分布在工件外圆上,不易产生变形。这种方法还可以提高三爪自定心卡盘的安装精度,达到较高的同轴度

(续)

装夹方法	简　　图	应用说明
软卡爪装夹		采用改装成扇形软卡爪的三爪自定心卡盘,可按与加工工件的装夹基面动配合的要求加工卡爪的工作面。使接触面增大,夹紧力均匀分布在工件上,不易产生变形
轴向夹紧夹具装夹		夹具用螺母 1 的端面来夹紧工件 2,夹紧力是轴向的,可避免工件变形

（续）

装夹方法	简　　图	应用说明
小锥度心轴装夹		锥度一般为1∶1000～1∶5000，制造方便、加工精度高。缺点是在长度上无法定位，承受切削力小，装卸不太方便 适用于内孔定位加工外圆
胀力心轴装夹		这种心轴是依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件的，装卸方便，加工精度高，使用比较广泛 胀力心轴一般直接安装在机床主轴孔中，胀力心轴的旋塞锥角最好为30°左右，最薄部分的壁厚为3～6mm，胀体上开有三等分槽，使胀力保持均匀 适用于内孔定位加工外圆

2. 刀具几何角度的选择

车削薄壁工件时，刀具刃口要锋利，一般采用较大的前角和主偏角，刀具的修光刃不宜过长（一般取 0.2～0.3mm），要求刀柄的刚度高。

1）外圆精车刀的主要角度及参数见图 1-59。

2）内孔精车刀的主要角度及参数见图 1-60。

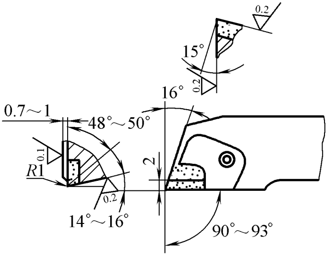


图 1-59　外圆精车刀

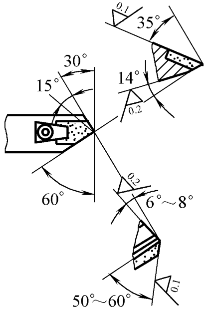


图 1-60　内孔精车刀

3. 精车薄壁工件的切削用量（表 1-24）

表 1-24　薄壁工件切削用量（精车）

工件材料	刀片材料	切削用量		
		v/（m/min）	f/（mm/r）	a_p/mm
45、Q235、铝合金	YT15 YG6A YG6X	100～130 400～700①	0.08～0.16 0.02～0.03	0.05～0.5 0.05～0.1

①　当机床精度低或刚度差时，应适当降低切削速度。

九、车削细长轴

工件的长度与直径之比大于25（$L/d>25$）的轴类零件称为细长轴。

1. 细长轴的加工特点

1）工件刚性差，拉弯力弱，并有因材料自身重量下垂的弯曲现象。

2）在切削过程中，工件受热伸长会产生弯曲变形，甚至会使工件卡死在顶尖间而无法加工。

3）工件受切削力作用易产生弯曲，从而引起振动，影响工件的精度和表面粗糙度。

4）对跟刀架、中心架辅助工夹具的操作技能要求高，与之配合的机床、工夹刀具等多方面的协调困难，这也是增加振动的因素，同时会影响加工精度。

5）由于工件长，每次走刀切削时间长，刀具磨损和工件尺寸变化大，难以保证加工精度。

因此，在车削细长轴时，对工件的装夹、刀具、机床、辅助工夹具及切削用量等要合理选择，精心调整。

2. 细长轴的装夹

（1）钻中心孔

将棒料一端钻好中心孔。当毛坯直径小于机床主轴通孔时，按一般方法加工中心孔，但是棒料所伸出床头后面的部分，应加强安全措施。当棒料直径大于机床主轴通孔或弯曲较大时，则用卡盘夹持一端，另一端用中心架支承其外圆毛坯面，先钻好可供活顶尖顶住的不规则中心孔，然后车出一段完整的外圆柱面，再用中心架

支承该圆柱面，修正原来的中心孔，达到圆度的要求。应注意，在开始架中心架时，应使工件旋转中心与中心钻中心重合，否则将出现中心钻在工件端面上划圈，导致中心钻被折断。

中心孔是细长轴的主要定位基准，精加工时，中心孔要求更高，一般精加工前要修正中心孔，使两端中心孔同轴，角度、圆度、表面粗糙度符合要求。因此在必要时还需将两端中心孔进行研磨。

（2）装夹方式

1）用中心架装夹。

① 中心架直接支承在工件中间（图 1-61）。这种方法适用于允许调头接刀车削，这样支承可改善细长轴的刚性。在工件装到中心架之前，必须在毛坯中间车一段安装中心架卡爪的沟槽。

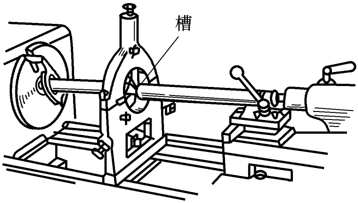


图 1-61　用中心架支承细长轴

车削时，卡爪与工件接触面应经常加润滑油。为了使卡爪与工件保持良好的接触，也可以在卡爪与工件之间加一层砂布或研磨剂，使接触更好。

② 用过渡套筒支承工件（图 1-62）。在细长轴中

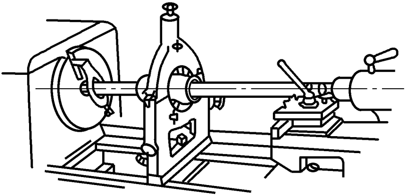


图 1-62　用过渡套筒支承细长轴

间要车削一条沟槽是比较困难的。为了解决这个问题，可采用过渡套筒装夹细长轴，使卡爪不直接与毛坯接触，而使卡爪与过渡套筒的外表面接触，过渡套筒的两端各装有 4 个螺钉，用这些螺钉夹住毛坯工件，但过渡套筒的外圆必须校正。

③ 一端夹住一端搭中心架（图 1-63）。除钻中心孔外，车削长轴的端面、车削较长套筒的内孔及内螺纹时，都可用一端夹住一端搭中心架的方法。这种方法使用范围广泛。

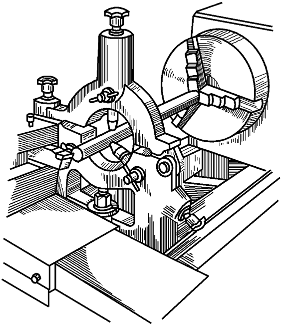


图 1-63　一端夹住一端搭中心架的装夹方法

④ 对中心架支承卡爪的调整。在调整中心架卡爪前，应在卡盘和顶尖之间将工件两端

支承好。

调整中心架卡爪的重点是注意两侧下方的卡爪，它决定工件中心位置是否保持在主轴轴线的延长线上，因此支承力应均等而且适度，否则将造成因操作失误顶弯工件。位于工件上方的卡爪，起抗衡主切削力 F_X 的作用，按顺序它应在下方两侧卡爪支承调整稳妥之后再进行支承调整，并注意不能过紧顶压。调整最后，应使中心架每个卡爪都能如精密配合的滑动轴承的内壁一样，保持相同的微小间隙，作自由滑动。而且应随时注意中心架各个卡爪的磨损情况，及时地调整和补偿。

中心架的三个卡爪在长期使用磨损后，可用青铜、球墨铸铁或尼龙 1010 等材料更换。

2）用跟刀架装夹（图 1-64）。车细长轴时最好采用三个卡爪的跟刀架，即它有平衡主切削力 F_X、径向分力 F_Y 和阻止工件自重下垂 G 的三向支承爪（图 1-65）。各支承卡爪的触头由可以更换的耐磨铸铁制成。支承爪圆弧可预先经镗削加工而成，也可以在车削时利用工件粗车后的粗糙表面进行磨合。在调整跟刀架各支承压力时，力度要适中，并要供给充分的润滑冷却液，才能保证跟刀架支承的稳定和工件的尺寸精度。

（3）装夹时应注意的几点

1）当材料毛坯弯曲较大时，使用四爪单动卡盘装夹为宜。因为四爪单动卡盘具有可调整被夹工件圆心位置的特点。当工件毛坯加工余量充足时，利用它将弯曲过大的毛坯部分“借”正。保证外径能全部车圆，并应留有足够的半精加工余量。

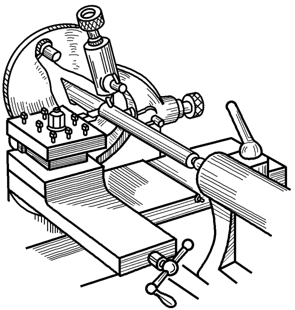


图 1-64　跟刀架装夹工件

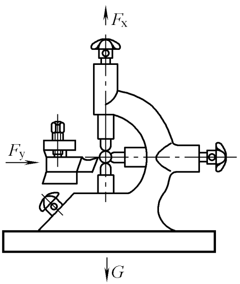


图 1-65　三爪跟刀架

2）卡爪夹持毛坯不宜过长，一般以 15～20mm 为好，并且应加垫铜皮或用直径 4～6mm 的钢丝绕在夹头上一圈充当垫块（图 1-66）。这样可以克服因材料尾端外圆不平而受力不均匀迫使工件弯曲的情况产生。

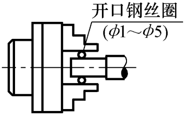


图 1-66　卡盘装夹工件

3）尾座端采用弹性回转顶尖（图 1-67）。由于切削热使工件变形伸长，将推动顶尖使碟形弹簧压缩变形，从而可有效地补偿工件的热变形伸长，工件不易弯曲，车削顺利。

调整顶尖对工件的压力大小，一般以开车后用手指能将顶尖头部捏住，使其不转为合适。

3. 加工细长轴用车刀几何角度的综合要求

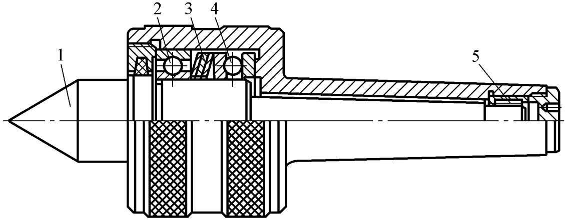


图 1-67　弹性回转顶尖

1—顶尖　2—圆柱滚子轴承　3—碟形弹簧

4—推力球轴承　5—滚针轴承

1）车刀的主偏角取 $\kappa_r = 80° \sim 95°$，以减小切削的径向分力，减少细长轴的弯曲。

2）选择较大的前角。取 $\gamma_o = 15° \sim 30°$，以减小切削力。

3）车刀前刀面应磨有 $R1.5 \sim 3$mm 的断屑槽，使切屑卷曲折断。

4）选择正值刃倾角，即取 $\lambda_s = 3° \sim 10°$，使切屑流向待加工表面。

5）减小切削刃表面粗糙度值，刀刃保持锋利。

6）不磨刀尖圆弧过渡刃和倒棱，或磨得很小，以保持刀刃的锋利，减小径向切削力。

7）粗车时，刀尖要高于中心 0.1mm 左右，精车时，刀尖应等于或略低于中心，不要超过 0.1mm。

4. 车削细长轴常用的切削用量（表 1-25）

表 1-25　车削细长轴常用的切削用量

切削用量	粗　　车	精　　车
v/（m/min）	32	1.5
f/（mm/r）	0.3～0.35	12～14
a_p/mm	2～4	0.02～0.05

5. 车削细长轴常见的工件缺陷和产生原因（表 1-26）

表 1-26　车削细长轴常见的工件缺陷和产生原因

工件缺陷	产生原因及消除方法
弯曲	1）坯料自重和本身弯曲。应经校直和热处理 2）工件装夹不良，尾座顶尖与工件中心孔顶得过紧 3）刀具几何参数和切削用量选择不当，造成切削力过大。可减小切削深度，增加进给次数 4）切削时产生热变形，应采用冷却润滑液 5）刀尖与跟刀架支承块间距离过大，应不超过 2mm 为宜
竹节形	1）在调整和修磨跟刀架支承块后，接刀不良，使第二次和第一次进给的径向尺寸不一致，引起工件全长上出现与支承块宽度一致的周期性直径变化。当车削中出现轻度竹节形时，可调节上侧支承块的压紧力，也可调节中滑板手柄，改变背吃刀量、减少车床床鞍和中滑板间的间隙 2）跟刀架外侧支承块调整过紧，易在工件中段出现周期性直径变化，应调整压紧，使支承块与工件保持良好接触

（续）

工件缺陷	产生原因及消除方法
多边形	1）跟刀架支承块与工件表面接触不良，留有间隙，使工件中心偏离旋转中心。应合理选用跟刀架结构，正确修磨支承块弧面，使其与工件良好接触 2）因装夹、发热等各种因素造成的工件偏摆，导致背吃刀量变化，可利用托架，并改善托架与工件的接触状态
锥度	1）尾座顶尖与主轴中心线对床身导轨的不平行 2）刀具磨损。可采用0°后角，磨出刀尖圆弧半径
表面粗糙	1）车削时的振动 2）跟刀架支承块材料选用不当，与工件接触和摩擦不良 3）刀具几何参数选择不当。可磨出刀尖圆弧半径，当工件长度与直径比较大时亦可采用宽刃低速光车

十、冷绕弹簧

1. 卧式车床可绕制弹簧的种类（图1-68）

2. 绕制圆柱形螺旋压缩弹簧（图1-68a）

1）计算心轴的直径。

① 计算冷绕弹簧用心轴直径的经验公式

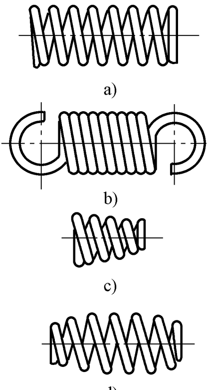


图 1-68 卧式车床可绕制弹簧的种类

a）压缩弹簧 b）拉伸弹簧

c）圆锥弹簧 d）橄榄形弹簧

$$D_0=\left[\left(1-0.0167\times\frac{d+D_1}{d}\right)\pm0.02\right]\times D_1$$

式中 D_0——心轴直径（mm）；

D_1——弹簧内径（mm）；

d——钢丝直径（mm）。

用中级弹簧钢丝，钢丝直径 $d<1$mm 时，心轴系数取 -0.02mm；$d>2.5$mm 时，取 $+0.02$mm。

用高级弹簧钢丝，钢丝直径 $d<2$mm 时，心轴系数取 -0.02mm；$d>3.5$mm 时，取 $+0.02$mm。钢丝直径在上述范围外，此项系数可不考虑。

② 计算冷绕弹簧用心轴直径的近似公式

$$D_0 = (0.75 \sim 0.8) D_1$$

如果弹簧以内径与其他零件相配，近似计算公式中的系数应选用较大值；如果弹簧以外径与其他零件相配，近似计算公式中的系数应选用较小值。弹簧心轴直径也可由表1-27查得。

计算和查得的心轴直径是近似的。正式绕制弹簧前，最好先进行试验，即先绕2～3圈，让其扩大，然后测量内径是否符合要求，再根据测量结果修正心轴直径。如果心轴直径偏差不大，也可以调整钢丝牵引力，使弹簧的直径稍微增大或减小。

2）根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。

3）用刀架夹住两块硬木块，并将钢丝夹在两硬木块之间。把钢丝插入心轴外端的小孔中（图1-69），使钢丝头部露出心轴外端小孔15～20mm后，锁紧刀架螺钉。将小刀架调整好一定距离后，即可开动车床，盘绕弹簧。

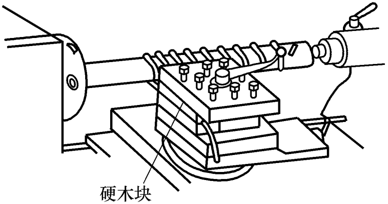
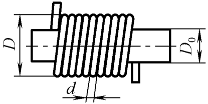


图1-69　绕制圆柱形螺旋压缩弹簧

表 1-27　弹簧心轴直径　（单位：mm）



d	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	心轴公差
D	心轴直径 D_0										
3	2.1										±0.1
4	3.1	2.5									
5	4.0	3.5	2.7	2.0							
6	5.0	4.5	3.6	2.9							
8		6.4	5.5	4.8							
10		8.4	7.4	6.7							
12			9.3	8.5	6.1	4.8					
14			11.1	10.4	8.0	6.6	5.2				

（续）

d	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	心轴公差
D	心轴直径 D_0										
18				14.3	11.9	10.4	9.0				
20				16.2	13.8	12.2	10.8				
22					16.6	14.1	12.7	10.5			
32					25.5	24.0	22.5	20.2	17.2	16.1	±0.2
40							30.3	28.1	26.1	24.0	
50								37.9	35.8	33.5	
60								47.2	45.0	42.5	

注：1. 在车床上热盘弹簧，心轴直径应等于弹簧内径。

2. 冷绕弹簧用的心轴直径，按小于弹簧内径选定，其差值由经验决定。2 级和 3 级精度钢弹簧，可按本表的数据选用。

3. 表中，*D* 为弹簧外径；*d* 为钢丝直径。

3. 绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧（图 1-68b）

1）心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

2）拉伸弹簧的节距等于钢丝直径，所以应按所给定的钢丝直径，调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。

3）绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

4. 绕制圆锥形螺旋压缩弹簧（图 1-70）

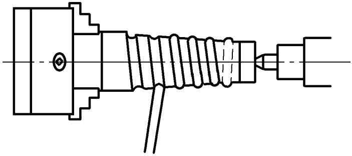


图 1-70　绕制圆锥形螺旋压缩弹簧

1）心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同，但应按弹簧大、小端内径分别计算出心轴的直径。根据计算确定的心轴大、小端直径和弹簧长度，制作锥度心轴。为保证弹簧节距的均匀，可将心轴制成带有圆弧槽的形状。心轴的大、小端直径，应是圆弧槽大、小端底径尺寸。

2）根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。

3）绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。其锥度心轴的大、小端直径，也应先进行试绕后再确定。

5. 绕制橄榄形弹簧（图 1-71）

1）心轴应制成可拆卸的，这样绕制后的橄榄形弹

簧才能正常取下。心轴由轴 1、垫圈 2 和挡圈 3 组成。轴 1 外圆与垫圈 2 的内孔，通过相应的键槽和键相配。依据弹簧节距确定垫圈厚度；依据弹簧圈数确定垫圈数目；依据弹簧的最大和最小内径，计算出垫圈的最大和最小外径。

2）根据弹簧节距，调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。

3）按图 1-71 所示装好心轴、垫圈和挡圈，即可绕制弹簧。

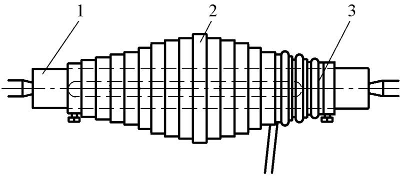


图 1-71　绕制橄榄形弹簧

1—轴　2—垫圈　3—挡圈

第二章　螺纹加工

一、车螺纹

1. 螺纹车刀和安装要求

（1）对三角形螺纹车刀几何形状的要求

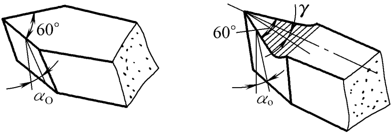
1）当车刀的径向前角 $\gamma=0°$时，车刀的刀尖角 ε 应等于牙型角 α，若 $\gamma\neq0°$应进行修正（图 2-1）。

$$\tan\frac{\varepsilon'}{2} = \tan\frac{\alpha}{2}\cos\gamma$$

式中　ε'——有径向前角的刀尖角；

α——牙型角；

γ——螺纹车刀的径向前角。



a)　　b)

图 2-1　螺纹车刀前角与车刀几何形状关系

a）径向前角等于 0°　b）径向前角大于 0°

2）车刀后角因螺旋角的影响应该磨得较大。

3）车刀的左右切削刃必须是直线。

4）刀尖角对于刀具轴线必须对称。

（2）对螺纹车刀安装的要求

车螺纹时，为了保证齿形正确，对螺纹车刀的安装要求是很严格的。对于三角形螺纹，它的齿形要求对称和垂直于工件轴线，即两半角必须相等。

车刀伸出刀座的长度不应超过刀杆截面高度的1.5倍。

螺纹车刀的对刀方式及安装方法如下：

1）用中心规（螺纹角度卡板）安装外螺纹车刀，对刀精度低，适用于一般螺纹车削（图2-2）。

2）用中心规（螺纹角度卡板）安装内螺纹车刀，对刀精度低，适用于一般螺纹车削（图2-3）。

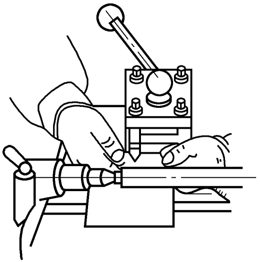


图2-2　车外螺纹时的对刀方法

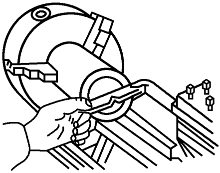


图2-3　车内螺纹时的对刀方法

3）用带有V形块的特制螺纹角度卡板，卡板后面做一V形角尺面，装刀时放在螺纹外圆上，作为基准，以保证螺纹车刀的刀尖角对分线与螺纹工件的轴线垂直（图2-4）。这种方法对刀精度较高，适用于车削精度较高的螺纹工件。

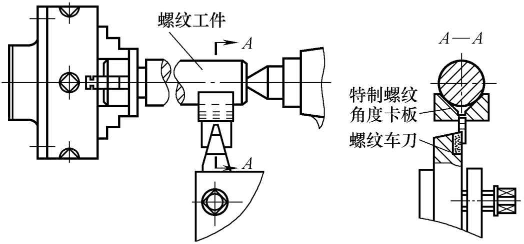


图 2-4　用带有 V 形块的特制螺纹角度卡板的对刀方法

4）选用刀杆上的一个侧面作为刃磨和装刀的同一基准。在工具磨床上刃磨车刀刀尖时和装刀时，同用指示表校正这个基准面的直线度（图 2-5）。这样可以保证装刀的偏差。这种方法对刀精度最高，适用于车削精密螺纹。

5）如图 2-6 所示为法向安装螺纹车刀，使车刀两侧刃的工作前、后角相等，切削条件一致，切削顺利，但会使牙型产生误差。法向安装车刀主要适用于粗车导程角大于 3° 的螺纹及车削法向直廓蜗杆。

6）如图 2-7 所示为轴向安装螺纹车刀，车刀两侧刃的工作前、后角不等，一侧刃的工作前角变小，后角增大，而另一侧刃则相反。

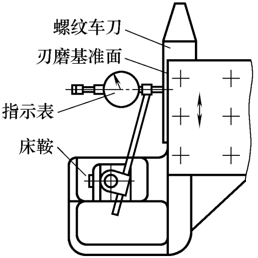
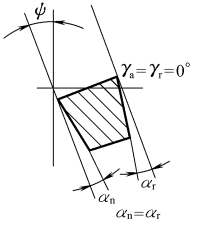


图 2-5　用同一基准面的对刀方法



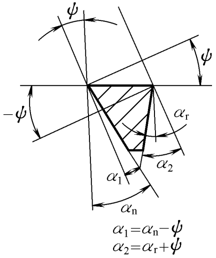


图 2-6 法向安装螺纹车刀　　**图 2-7 轴向安装螺纹车刀**

轴向安装车刀主要适用于各种螺纹的精车以及车削轴向直廓蜗杆。

2. 车螺纹车刀的刀尖宽度尺寸

（1）车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸（表 2-1）

表 2-1 车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸（牙型角 =30°）

（单位：mm）

计算公式：刀尖宽度 =0. 366 × 螺距 −0. 536 × 间隙					
螺　距	刀尖宽度	螺　距	刀尖宽度	螺　距	刀尖宽度
2	0. 598	8	2. 660	24	8. 248
3	0. 964	10	3. 292	32	11. 176
4	1. 330	12	4. 124	40	14. 104
5	1. 562	16	5. 320	48	17. 032
6	1. 928	20	6. 784		

注：间隙的数值可查梯形螺纹基本尺寸表。

（2）车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（表 2-2）

（3）车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸（表 2-3）

表 2-2　车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 =40°)

(单位:mm)

计算公式:刀尖宽度 =0. 843 × 模数 −0. 728 × 间隙 (若取间隙 =0. 2 × 模数,则刀尖宽度 =0. 697 × 模数)					
模　数	刀尖宽度	模　数	刀尖宽度	模　数	刀尖宽度
1	0. 697	(4. 5)	3. 137	12	8. 364
1. 5	1. 046	5	3. 485	14	9. 758
2	1. 394	6	4. 182	16	11. 152
2. 5	1. 743	(7)	4. 879	18	12. 546
3	2. 091	8	5. 576	20	13. 940
(3. 5)	2. 440	(9)	6. 273	25	17. 425
4	2. 788	10	6. 970	(30)	20. 910

注：括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-3　车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 =29°)

(单位:mm)

计算公式:刀尖宽 $=\dfrac{25.4\times 0.9723}{径节\ P}=\dfrac{24.6964}{P}$					
径节 *P*	刀尖宽度	径节 *P*	刀尖宽度	径节 *P*	刀尖宽度
1	24. 696	8	3. 087	18	1. 372
2	12. 348	9	2. 744	20	1. 235
3	8. 232	10	2. 470	22	1. 123
4	6. 174	11	2. 245	24	1. 029
5	4. 939	12	2. 058	26	0. 950
6	4. 116	14	1. 764	28	0. 882
7	3. 528	16	1. 544	30	0. 823

注：刀尖宽度 = 螺纹槽底宽度，通常采用这个尺寸做磨刀样板（精车）。

3. 车螺纹时的交换齿轮计算

（1）无进给箱车床车螺纹交换齿轮计算

无进给箱的车床主轴到丝杠的传动系统如图 2-8 所示。车螺纹时，车头转速通过三星齿轮和交换齿轮 z_1、z_2、z_3、z_4 传给车床的丝杠。由于主轴上的齿轮和三星齿轮齿数固定不变（三星齿轮只改变丝杠的旋转方向），所以主轴与丝杠的传动比是依靠交换齿轮来调整的。

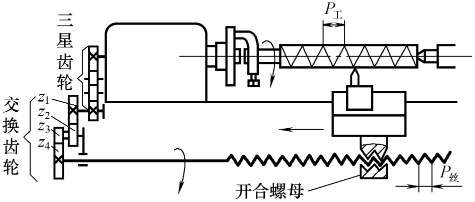


图 2-8　无进给箱车床交换齿轮

应该注意，计算出来的各交换齿轮的齿数一般应符合以下两条原则：

$$z_1 + z_2 - z_3 > 15$$

$$z_3 + z_4 - z_2 > 15$$

否则容易产生啮合不上的情况。

1）米制车床车米制螺纹。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{工件螺距}{丝杠螺距}$$

例　车床丝杠螺距 6mm，现在要车螺距 $P = 3$mm 的

螺栓，求交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\text{工件螺距}}{\text{丝杠螺距}} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} = \frac{20}{40}$

或 $$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{1 \times 25}{2 \times 25} = \frac{25}{50}$$

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{1 \times 40}{2 \times 40} = \frac{40}{80}$$

还有$\frac{30}{60}$、$\frac{35}{70}$、$\frac{45}{90}$、$\frac{50}{100}$、$\frac{60}{120}$…都可以做交换齿轮，因为计算所得传动比都等于$\frac{1}{2}$，只要在上面各组中任取一组就可以了。上列各组都只有 z_1 和 z_4 一对交换齿轮，为了让丝杠与工件的旋转方向相同，必须在 z_1 和 z_4 之间加一个中间轮（俗称介轮）。

2）米制车床车英制螺纹。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\frac{25.4^{㊀}}{\text{工件每英寸牙数}}}{\text{丝杠螺距}}$$

$$= \frac{127}{5 \times \text{丝杠螺距} \times \text{工件每英寸牙数}}$$

$$= \frac{18 \times 24}{17 \times \text{工件每英寸牙数} \times \text{丝杠螺距}}$$

$$= \frac{40 \times 40}{9 \times 7 \times \text{工件每英寸牙数} \times \text{丝杠螺距}}$$

㊀ $25.4 = \frac{127}{5} \approx \frac{18 \times 24}{17} \approx \frac{40 \times 40}{9 \times 7} \approx \cdots$

例 车床丝杠螺距 6mm，要车工件是每英寸 10 牙的螺纹，试计算交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{127}{5\times\text{丝杠螺距}\times\text{工件每英寸牙数}}$

$$=\frac{127}{5\times6\times10}=\frac{127}{300}=\frac{1}{3}\times\frac{127}{100}=\frac{40}{120}\times\frac{127}{100}$$

根据啮合条件进行验算：

$$40+120-127=33,\ 33>15$$

$$127+100-120=107,\ 107>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$$z_1=40, z_2=120, z_3=127, z_4=100。$$

3）英制车床车米制螺纹。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\frac{\text{工件螺距}}{25.4}}{\text{丝杠每英寸牙数}}$$

$$=\frac{\text{工件螺距}\times\text{丝杠每英寸牙数}\times5}{127}$$

$$=\frac{\text{工件螺距}\times\text{丝杠每英寸牙数}\times17}{18\times24}$$

$$=\frac{\text{工件螺距}\times\text{丝杠每英寸牙数}\times7\times9}{40\times40}$$

例 车床丝杠每英寸 6 牙，工件螺距是 5mm，试计算交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\text{工件螺距}\times\text{丝杠每英寸牙数}\times5}{127}$

$$=\frac{5\times6\times5}{127}=\frac{150}{127}=\frac{2\times75}{127}$$

$$=\frac{80\times75}{40\times127}=\frac{80}{40}\times\frac{75}{127}$$

根据啮合条件进行验算：

$$80+40-75=45,\ 45>15$$

$$75+127-40=162,\ 162>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$$z_1=80, z_2=40, z_3=75, z_4=127。$$

4）英制车床车英制螺纹。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\dfrac{25.4}{\text{工件每英寸牙数}}}{\dfrac{25.4}{\text{丝杠每英寸牙数}}}=\frac{\text{丝杠每英寸牙数}}{\text{工件每英寸牙数}}$$

例 车床丝杠每英寸 4 牙，工件每英寸 6 牙，试计算交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\text{丝杠每英寸牙数}}{\text{工件每英寸牙数}}=\frac{4}{6}=\frac{2\times2}{2\times3}=\frac{40}{40}\times\frac{60}{90}$

根据啮合条件进行验算：

$$40+40-60=20,\quad 20>15$$

$$60+90-40=110,\quad 110>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$$z_1=40, z_2=40, z_3=60, z_4=90。$$

5）米制车床车模数蜗杆。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\pi\times 模数}{丝杠螺距}=\frac{\frac{22}{7}^{㊀}\times 模数}{丝杠螺距}=\frac{22\times 模数}{7\times 丝杠螺距}$$

例 车床丝杠螺距为6mm，车模数为2mm的蜗杆，求交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{22\times 模数}{7\times 丝杠螺距}=\frac{22\times 2}{7\times 6}=\frac{11\times 4}{7\times 6}$

$$=\frac{110}{70}\times\frac{80}{120}$$

根据啮合条件验算：

$$110+70-80=100,\quad 100>15$$

$$80+120-70=130,\quad 130>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$z_1=110, z_2=70, z_3=80, z_4=120$。

6）米制车床车径节蜗杆。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\frac{\pi\times 25.4}{径节}}{丝杠螺距}$$

$$=\frac{\pi\times 25.4}{径节\times 丝杠螺距}=\frac{\frac{22}{7}\times\frac{127}{5}}{径节\times 丝杠螺距}$$

$$=\frac{22\times 127}{7\times 5\times 径节\times 丝杠螺距}$$

例 车床丝杠螺距为6mm，车径节为12的蜗杆螺

㊀ $\pi\approx\frac{22}{7}$。

纹，求交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{22\times127}{7\times5\times\text{径节}\times\text{丝杠螺距}}$

$$=\frac{22\times127}{7\times5\times12\times6}$$

$$=\frac{127\times11}{60\times21}=\frac{127}{60}\times\frac{55}{105}$$

根据啮合条件进行验算：

$$127+60-55=132,\quad 132>15$$

$$55+105-60=100,\quad 100>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$$z_1=127, z_2=60, z_3=55, z_4=105。$$

7）英制车床车模数蜗杆。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\dfrac{\pi\times\text{模数}}{25.4}}{\text{丝杠每英寸牙数}}$$

$$=\frac{\pi\times\text{模数}\times\text{丝杠每英寸牙数}}{25.4}$$

$$=\frac{\dfrac{22}{7}\times\text{模数}\times\text{丝杠每英寸牙数}}{\dfrac{127}{5}}$$

$$=\frac{22\times5\times\text{模数}\times\text{丝杠每英寸牙数}}{7\times127}$$

例 车床丝杠每英寸 4 牙，车模数为 2.5 的蜗杆，求交换齿轮齿数。

解

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{22\times5\times\text{模数}\times\text{丝杠每英寸牙数}}{7\times127}$$

$$=\frac{22\times5\times2.5\times4}{7\times127}=\frac{10\times110}{127\times7}=\frac{100}{127}\times\frac{110}{70}$$

根据啮合条件进行验算：

$$100+127-110=117,\ 117>15$$

$$110+70-127=53,\ 53>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$z_1=100$，$z_2=127$，$z_3=110$，$z_4=70$。

8）英制车床车径节蜗杆。交换齿轮计算公式：

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{\dfrac{\pi}{\text{径节}}}{\dfrac{1}{\text{丝杠每英寸牙数}}}=\frac{\pi\times\text{丝杠每英寸牙数}}{\text{径节}}=$$

$$\frac{22\times\text{丝杠每英寸牙数}}{7\times\text{径节}}$$

例 车床丝杠每英寸 4 牙，车径节等于 8 的蜗杆，求交换齿轮齿数。

解 $\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{22\times\text{丝杠每英寸牙数}}{7\times\text{径节}}=\frac{22\times4}{7\times8}=$

$$\frac{110}{35}\times\frac{25}{50}$$

根据啮合条件进行验算：

$$110+35-25=120,\ 120>15$$

$$25+50-35=40,\ 40>15$$

符合啮合条件，所以可选：

$z_1=110$，$z_2=35$，$z_3=25$，$z_4=50$。

（2）有进给箱车床车螺纹交换齿轮计算

1）车特殊螺距时的计算方法。特殊螺距是指螺距（或每英寸牙数、模数等）在铭牌上找不到，可以用下列公式计算：

车米制螺纹或模数蜗杆：$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{a}{a_1}\times i_{原}$

车英制螺纹或径节蜗杆：$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{b_1}{b}\times i_{原}$

（上面公式不论英制车床或米制车床都适用）

式中 a——工件螺纹的螺距或模数；

a_1——在铭牌上任意选取的螺距或模数，如果 a 是螺距，那么 a_1 应该在铭牌螺距一栏中任意选取；如果 a 是模数，那么 a_1 应该在铭牌模数一栏中任意选取；

b——工件螺纹的每英寸牙数或径节；

b_1——在铭牌上任意选取的每英寸牙数或径节，如果 b 是每英寸牙数，那么 b_1 应在铭牌上每英寸牙数一行中任意选取；如果 b 是径节，那么 b_1 应在铭牌上径节一栏中任意选取；

$i_{原}$——所选出来的 a_1 或 b_1 原来位置上的交换齿轮比，这个比值在铭牌上是注明的。

例 1 在 C620—1 型车床上，要车螺距 $P=0.9$mm 的螺纹，怎样计算交换齿轮齿数和变换手柄位置？

解 0.9mm 的螺距在铭牌上是没有的。可以在米制

螺纹螺距一行中选 $a_1=0.8\text{mm}$，由铭牌查出 $i_{原}=\frac{22}{33}\times\frac{20}{25}$，手柄在 1 的位置，现在要车螺距 0.9mm 的螺纹，则

$$传动比\ i=\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{a}{a_1}i_{原}=\frac{0.9}{0.8}\times\frac{22}{33}\times\frac{20}{25}=\frac{40}{48}\times\frac{36}{50}$$

手柄仍放在 1 的位置。

例 2 在 C615 型车床上车每英寸 $10\frac{1}{2}$牙的英制螺纹，怎样计算交换齿轮齿数和变换手柄位置?

解 每英寸 $10\frac{1}{2}$牙的螺距在铭牌上是没有的。可在英制螺纹每英寸牙数一栏中选取 $b_1=5.5$，查出

$$i_{原}=\frac{25}{31}\times\frac{21}{22}，手柄在 3 的位置$$

现在要车每英寸牙数为 $10\frac{1}{2}$的螺纹，则

$$传动比\ i=\frac{b_1}{b}i_{原}=\frac{5.5}{10.5}\times\frac{25}{31}\times\frac{21}{22}=\frac{21}{42}\times\frac{25}{31}$$

手柄放在 3 的位置上。

2）车模数或径节蜗杆时的计算方法：

$$车模数蜗杆：\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{工件模数}{铭牌所选螺距}\times\frac{22}{7}\times i_{原}$$

$$车径节蜗杆：\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{铭牌所选每英寸牙数}{工件径节}\times\frac{22}{7}\times i_{原}$$

应用以上公式应注意：如果要车模数蜗杆，应在铭牌米制螺距一行中选取；如果要车径节蜗杆，应在铭牌英制螺纹（每英寸牙数）一行中选取。并尽可能使选出的数字与要车工件数字相同。

例 1 在一台带有进给箱的英制车床上车一个模数 $m=2.5$mm 的蜗杆，怎样计算交换齿轮齿数和变换手柄位置。

解 在铭牌米制螺距一行中选取2.5mm，查出 $i_{原}=\frac{50}{127}$，手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 应放在 3 的位置上。

现在要车模数 2.5mm 的蜗杆，则

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{工件模数}{铭牌所选螺距}\times\frac{22}{7}\times i_{原}=\frac{2.5}{2.5}\times\frac{22}{7}\times\frac{50}{127}$$

$$=\frac{100}{35}\times\frac{55}{127}$$

手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 放在 3 的位置上。

例 2 在一台有进给箱的米制车床上车一径节为12的蜗杆螺纹，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解 在铭牌英制螺纹一行中选取12，查出

$$i_{原}=\frac{50}{60}\times\frac{70}{80}$$

现在要车径节为 12 的蜗杆，则

$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{铭牌所选每英寸牙数}{工件径节}\times\frac{22}{7}\times i_{原}=\frac{12}{12}\times\frac{22}{7}\times\frac{50}{60}\times\frac{70}{80}=\frac{50}{30}\times\frac{55}{40}$$

手柄应放在车每英寸 12 牙时所规定的位置。

4. 车多线螺纹时的交换齿轮计算及分线方法

圆柱体上只有一条螺旋槽的螺纹，叫做单线螺纹。凡有两条或两条以上螺旋槽的螺纹，就叫多线螺纹，如图 2-9 所示。

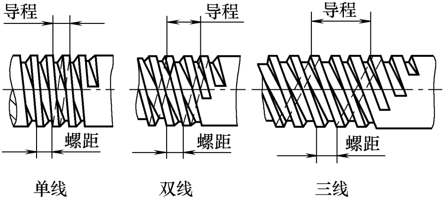


图 2-9 螺纹形式

（1）导程计算公式

$$P_h = Pn$$

式中 P_h——螺纹导程（mm）；

P——螺纹螺距（mm）；

n——螺纹线数。

（2）交换齿轮计算

车多线螺纹时的传动比是按螺纹导程来计算的。为了减少计算导程（或者多线螺纹的每英寸牙数）的麻烦，只要在单线螺纹的公式后面乘上螺纹线数就行了。

例如米制车床车米制多线螺纹，计算公式为

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\text{工件螺距}}{\text{丝杠螺距}} \times \text{线数}$$

例 1　车床丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，车削一工件螺距为 2.5mm 的双线螺纹，求交换齿轮。

解　$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{2.5}{6}\times2=\frac{5}{6}=\frac{50}{60}$$

例 2　车床丝杠每英寸 4 牙，需车削工件是每英寸 10 牙的双线螺纹，计算交换齿轮。

解　$$\frac{z_1}{z_2}\times\frac{z_3}{z_4}=\frac{4}{10}\times2=\frac{4}{5}=\frac{40}{50}$$

（3）车多线螺纹的分线方法

1）用小刀架的丝杠分线（图 2-10）。这种方法属于轴向分线法，当车好一条螺旋线后，把车刀轴向移动一个螺距，就可车削第二条螺旋线。前移的距离可用指示表测出，也可以按小刀架摇过的格数来计算。

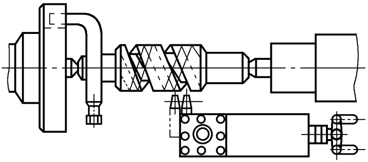


图 2-10　用小刀架的丝杠分线

$$\text{小刀架摇把摇过的格数}=\frac{\text{工件的螺距}}{\dfrac{\text{小刀架丝杠螺距}}{\text{刻度盘一圈的格数}}}$$

$$=\frac{\text{工件的螺距}\times\text{刻度盘一圈的格数}}{\text{小刀架丝杠螺距}}$$

例 车床小刀架丝杠螺距为 5mm，小刀架刻度盘一圈 100 格，所车工件 Tr20×6（P2），问如何用小刀架丝杠分线？

解 摇把应转的格数 $=\frac{2\times 100}{5}=40$（格）

即车完每一线后，将小刀架摇把摇过 40 格，使小刀架往前移一个螺距（2mm），就可车另一个头的螺纹。

2）用指示表分线方法（图 2-11）。对精度要求高的多线螺纹，可利用指示表控制小滑板的移动距离，即每车好一条螺旋槽后，使车刀沿轴向移动一个螺距。

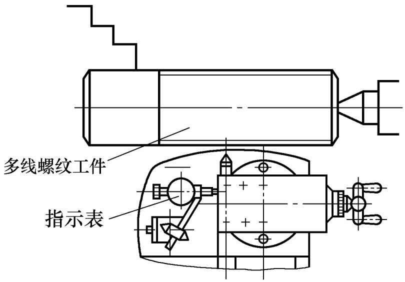
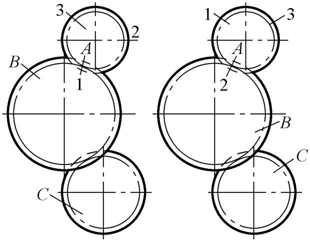


图 2-11 用指示表分线

3）用交换齿轮齿数分线方法（图 2-12）。这种方法属于圆周分线法，即当车好第一条螺旋线以后，使工件跟车刀的传动链脱开，并把工件转过一定的齿数$\left(\text{双线螺纹转}\frac{z_1}{2}\text{，三线螺纹转}\frac{z_1}{3}\right)$后，再合上传动链就

可以车另一个螺旋线。这样依次分线就可把螺旋线车好。



a)　　b)

图 2-12　用交换齿轮齿数分线

当交换齿轮中的主动轮齿数是螺纹线数的倍数时，可以按下列步骤进行分线：

当车好第一条螺旋线后，停车。

在主轴交换齿轮 z_1（主轴齿轮 A）上用粉笔做好三等分（或两等分）。

然后将中间轮 B 与主轴齿轮 A 脱开，用手转动卡盘。

使记号 2 的一个齿转到原来 1 的位置上。

这时再将中间轮 B 与主轴齿轮 A 啮合，即可车第二条螺旋线。

第三条螺旋线的分线方法与第二条螺旋线的分线方法相同。

4）用分度盘分线方法（图 2-13）。将特制的分度盘

装在主轴箱主轴上，利用盘上的定位孔进行分线（一般定位孔为 12 等分）。分度盘可与三爪自定心卡盘相连，也可以装上拨块 7 拨动夹头，用两顶夹装夹车削。

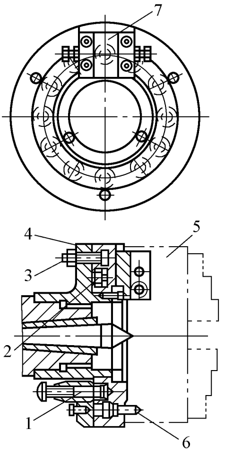


图 2-13　用分度盘分线

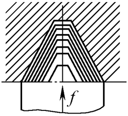
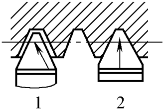
1—定位插销　2—定位孔　3—螺母　4—分度盘　5—卡盘　6—螺钉　7—拨块

其分线精度取决于分度盘定位孔的加工精度。这种方法适用于批量生产使用。

5. 螺纹车削方法

（1）三角螺纹车削方法（表 2-4）

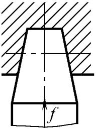
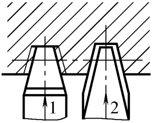
表 2-4　三角螺纹车削方法

螺距/mm	$P\leqslant3$	$P>3$
车削方法	用一把硬质合金车刀，径向进刀车出螺纹 	首先用粗车刀斜向进刀粗车，然后用精车刀径向进刀精车。若为精密螺纹，精车时应用轴向进刀分别精车牙型两侧 

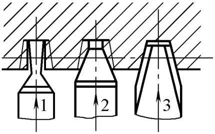
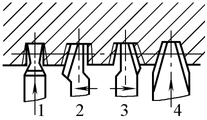
（2）梯形螺纹车削方法（表 2-5）

（3）方牙螺纹车削方法（表 2-6）

表 2-5　梯形螺纹车削方法

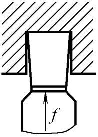
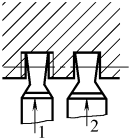
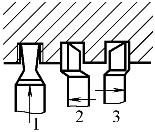
螺距/mm	$P\leqslant3$	$3<P\leqslant8$
车削方法	用一把车刀，径向进刀粗、精车 	首先用比牙型角小 2°的粗车刀径向进刀车至底径，而后用精车刀径向进刀精车 

（续）

螺距/mm	$8<P\leqslant10$	$P>10$
车削方法	首先用切槽车刀径向进刀车至底径，再用刃形小于牙型角 2°的粗车刀径向进刀粗车，最后用开有卷屑槽的精车刀径向进刀精车 	先用切刀径向进刀粗车至底径，再用左、右偏刀轴向进刀粗车两侧，最后用精车刀径向进刀精车 

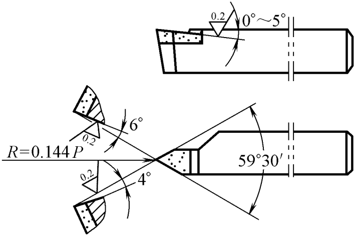
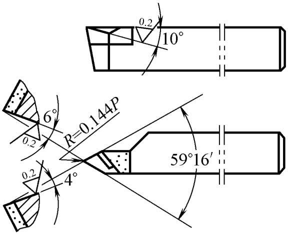
注：车削蜗杆时可参考此表。

表 2-6　方牙螺纹车削方法

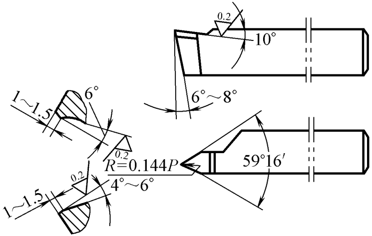
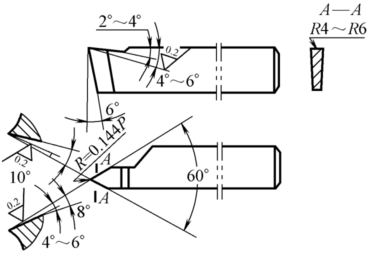
螺距/mm	$P\leqslant4$	$4<P\leqslant12$	$P>12$
车削方法	用一把车刀，径向进刀车成。精密螺纹用两把刀，径向进刀，粗、精车 	分别用粗、精车刀径向进刀粗、精车 	先用切刀径向进刀车至底径，后用左、右精车偏刀分别精车牙型两侧（轴向进刀） 

6. 常用螺纹车刀的特点与应用（表 2-7）。

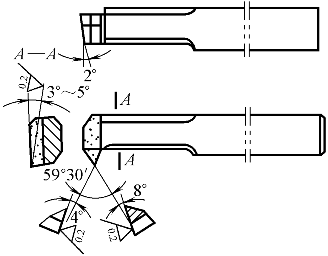
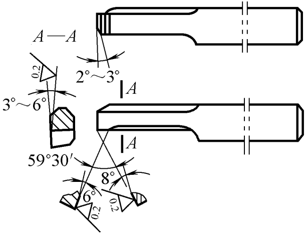
表 2-7　常用螺纹车刀的特点与应用

名称	图　　示	特点与应用
车削铸铁螺纹用车刀		刀尖强度高，几何角度刃磨方便，切削阻力小，适用于粗、精车螺纹（精车时应修正刀尖角）
车削钢件螺纹用车刀		刀具前角大，切削阻力小，几何角度刃磨方便。适用于粗、精车螺纹（精车时应修正刀尖角）

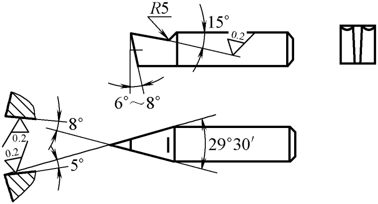
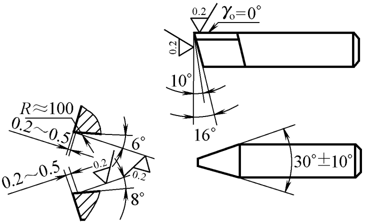
（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢螺纹车刀Ⅰ		刀具两侧刃面磨有 1～1.5mm 宽的刃带，作为精车螺纹的修光刃，因刀具前角大，应修正刀尖角。适用于精车螺纹
高速钢螺纹车刀Ⅱ		车刀有 4°～6°的正前角，前面有圆弧形的排屑槽（半径 $R=4\sim6$mm）。适用于精车大螺距的螺纹

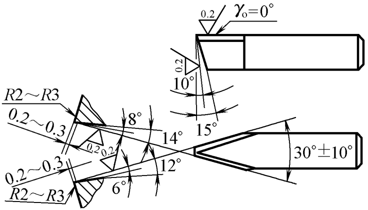
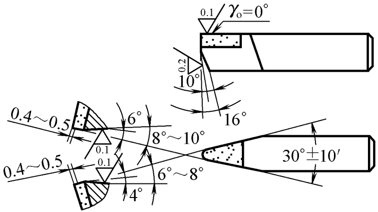
（续）

名称	图　　示	特点与应用
硬质合金内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定
高速钢内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定

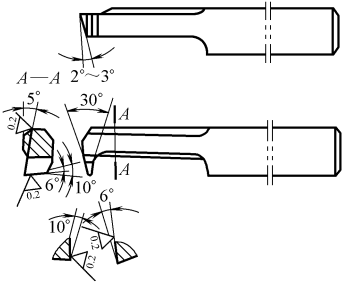
（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢梯形螺纹粗车刀		刀具有较大前角，便于排屑，刀具后角较小，增强刀具刚性。适用于粗车螺纹
高速钢梯形螺纹精车刀		车刀前角等于 0°，两侧刃后角具有 0.3～0.5mm 宽的切削刃带。适用于精车螺纹

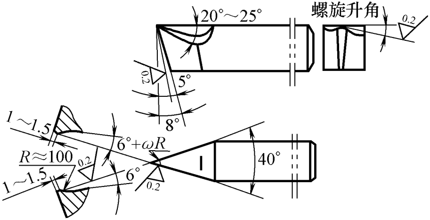
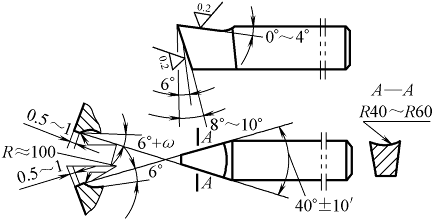
（续）

名称	图　　示	特点与应用
带分屑槽的梯形螺纹精车刀		车刀前面沿两侧磨有 *R*＝2～3mm 的分屑槽，两侧刃后角磨有 0.2～0.3mm 的切削刃带。适用于精车螺纹
硬质合金梯形螺纹车刀		车刀前角等于 0°，两侧刃后角磨有 0.4～0.5mm 的切削刃带。适用于精车螺纹

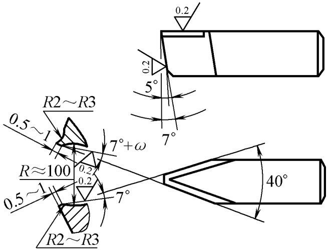
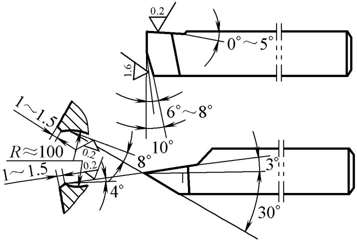
（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢梯形内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。刀杆的直径与长度，根据工件的孔径与长度而定

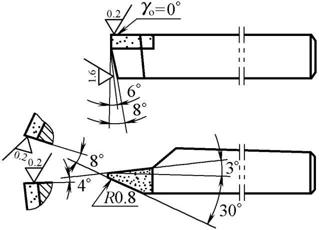
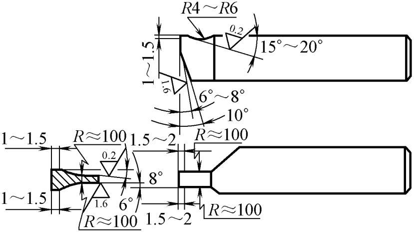
（续）

名称	图　　示	特点与应用
高速钢蜗杆螺纹粗车刀		车刀有较大的前角，切削阻力小，切屑变形小。两侧刃后角磨有 1 ～ 1.5mm 的切削刃带，增强刀具强度。适用于粗车螺纹
高速钢蜗杆螺纹精车刀		车刀前面为圆弧形（半径 $R=40\sim60$mm），有较大的侧刃前角，便于排屑，两侧刃后角磨有 0.5 ～1mm 切削刃带，可提高刀具强度。前角大于 0°时应修正刀尖角

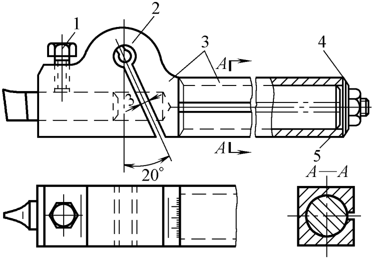
（续）

名称	图　　示	特点与应用
带分屑槽的蜗杆精车刀		车刀前面沿两侧有 $R=2\sim3$mm 的分屑槽，两侧刃后角磨有 0.5～1mm 的切削刃带，刀具刃磨后研磨两侧后角及前角，保证刃口平直光滑
高速钢锯齿形螺纹车刀		刀具两侧刃后角磨有 1～1.5mm 的切削刃带，用以增强刀具刚性，适用于粗、精车螺纹（若前角大于 0°，精车时应修正刀尖角）

（续）

名称	图　　示	特点与应用
硬质合金锯齿形螺纹车刀		车刀前角等于0°，强度好，刃磨方便，适用于精车螺纹
高速钢带有刃带的方牙螺纹精车刀		车刀前角大，两侧刃后角具有1～1.5mm的切削刃带。因前角大，切削阻力小，排屑方便，适用于精车螺纹

（续）

名称	图　　示	特点与应用
可旋转调节刀杆	1—紧固螺钉　2—开口弹簧钢套 3—刀杆体　4—垫圈 5—紧固刀杆螺母	可旋转调节刀杆在使用中刀头、刀杆可相对刀杆体3转动一导程角，然后用紧固螺钉1锁紧。这种刀杆调节方便，而且刀杆有弹性，能消除振动，提高工件加工精度，降低表面粗糙度，还可延长刀具寿命 适用于加工导程角很大的蜗杆工件

二、旋风铣削螺纹

旋风铣削螺纹的实质，是用硬质合金刀具高速铣削螺纹。加工时，工件由主轴带动慢速转动，旋风铣刀安装在车床横刀架上，由电动机经传动带驱动，作高速切削运动，同时床鞍纵向进给。工件转一转，旋风铣刀纵向进给量等于工件的一个导程（图 2-14）。加工内螺纹时，旋风铣刀换成刀杆。

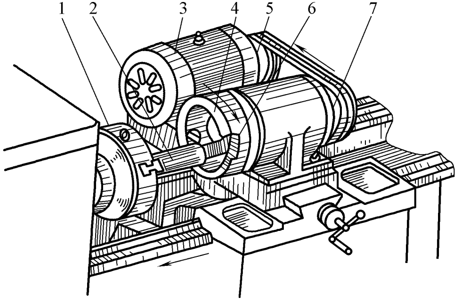


图 2-14　旋风切削螺纹装置

1—卡盘　2—工件　3—电动机　4—刀盘

5、7—带轮　6—刀头

旋风铣削螺纹时，要求尽量采用顺铣，并应设法消除传动间隙。旋风头旋转轴线对工件轴线倾斜角等于导程角 λ。加工右旋螺纹时，旋风头逆时针方向转动；加工左旋螺纹时，旋风头顺时针方向转动。

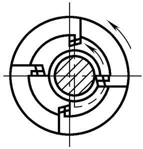
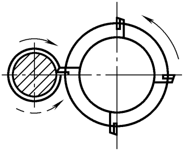
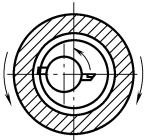
用对刀规安装刀头，要求刀盘或刀杆上各刀头切削刃

部的径向圆跳动≤0.02mm，端面圆跳动≤0.005mm，各刀头的刃形角要严格一致，否则螺纹齿面会产生波纹度。

旋风铣削丝杠的精度可达7～8级，表面粗糙度为 $Ra2.5\sim5\mu m$。

1. 旋风铣削螺纹方式及适用范围（表2-8）

表2-8　旋风铣削螺纹的方式及适用范围

切削方式	加工简图	特　　点	适用范围
内切法加工外螺纹		1）切削平稳 2）螺纹表面粗糙度值较小 3）刀具寿命较长 4）排屑较困难 5）工件直径受机床和切头结构限制	1）适用于铣削螺纹导程角≤5°的螺纹 2）螺纹直径＜100mm
外切法加工外螺纹		1）切削振动比内切法大 2）螺纹表面粗糙度值较内切法大 3）刀具寿命低	1）螺纹直径＞100mm 2）螺纹导程角＞5°的螺纹
内切法加工内螺纹		1）切削平稳 2）刀具回转直径与工件螺纹中径的比值，一般为0.6～0.7	直径≥32mm的内螺纹

注：加工简图中实线所示的工件旋转方向为顺切削，虚线所示方向为逆切削。

2. 旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度（表 2-9）

表 2-9　旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度

螺纹种类	工件材料	螺纹牙型	螺距/mm	刀片材料	刀杆规格尺寸/mm		刀具主要角度		
					L	$B\times H$	后角 α_o/(°)	前角 γ_o/(°)	刀尖角 ε
外螺纹	碳钢	三角形	<3	YT15	60	12×12	6	0~4	59°3′
		三角形	3~6	YT15	60	12×14	6	0~4	59°30′
		梯形	4~12	YT15	60	12×16	6~8	0	30°
	合金钢	三角形	<3	YT15	60	12×12	8	0~6	59°30′
		三角形	3~6	或	60	12×14	8	0~4	59°30′
		梯形	4~12	YN10	60	12×16	8	0	30°
	不锈钢	三角形	<3	YG8	60	12×12	8	3~6	59°30′
		三角形	3~6	YT15 或	60	12×14	8	6	59°30′
		梯形	4~12	YN10	60	12×16	8	6~8	29°30′
	非铁金属	三角形	<4	YG8	60	12×14	8	10	59°
		三角形	4~12	YG8	60	12×16	8	10	59°
内螺纹	碳钢与合金钢	三角形	<3	YT15	按内螺纹小径选择刀头和刀杆		8	0~5	59°30′
		三角形	3~6	YT15			6	0~5	59°30′
	不锈钢	三角形	<6	YG8 或 YT15			8	6	50°30′
	非铁金属	三角形	<6	YG8			8	10	59°

3. 旋风铣削螺纹常用切削用量（表 2-10）

表 2-10　旋风铣削螺纹常用切削用量

工件材料	刀具材料	螺纹牙型	工件直径/mm	螺距/mm	装刀把数	转速/(r/min)		进给次数
						刀盘转速	主轴转速	
碳钢或合金钢	YT15	三角形	<30	<3	1~2	1400~1600	12~25	1
			<30		4	1000~1200	12~20	1
			30~50		1~2	1200~1400	12	1
			30~50		4	1000~1200	12	1
			50~68	3~6	1~2	1000~1200	4~12	1~2
			50~68	3~6	4	1000~1200	8~12	1~2
		梯形	24~40	4~8	1~2	1200~1400	4~8	2~3
			40~60	4~12	2~4	1000~1200	2~4	2~3
非铁金属	YG8	三角形或梯形	<30	<3	1~2	1400~1600	12~16	1
			30~70	3~6	1~2	1200~1400	8~12	1~3
			<30	<3	4	1200~1400	12~16	1~2
			30~70	3~6	4	1000~1200	4~8	2~3
钢件或铜件	YT15 YG8	三角形或梯形内螺纹	20~30	<3	1	1600~2400	8~12	1
			30~60	3~6	1		4~8	1~3

注：切削不锈钢时，转速比表中加工相应钢件数值略低。

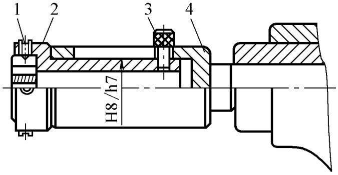
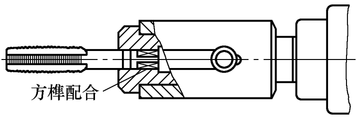
三、用板牙和丝锥切削螺纹

在卧式车床上除了用车刀车削各种螺纹外，对直径和螺距较小的螺纹，还可以用板牙和丝锥来加工。

板牙套螺纹一般用在不大于 M16 或螺距小于 2mm 的外螺纹。丝锥适用于切削直径或螺距较小的内螺纹。

1. 用车床套螺纹和攻螺纹的工具（表 2-11）

表 2-11　用车床套螺纹和攻螺纹的工具

名称	图　　示	应用说明
套螺纹工具	 1—螺钉　2—工具体 3—销钉　4—套筒	先将套螺纹工具安装在尾座套筒内，工具体 2 左端孔内装上板牙，并用螺钉 1 固定。套筒 4 上有一条长槽，长槽内由销钉 3 插入工具体 2 中，防止套螺纹时转动
攻螺纹工具		攻螺纹工具与套螺纹工具相似，只要将中间工具体改换成能装夹丝锥的工具体，即方孔配合

2. 丝锥、板牙标准规格尺寸

(1) 丝锥

1) 丝锥结构及应用。机用和手用丝锥是切削普通螺纹的常用标准丝锥。在国家标准中，将高速钢磨牙丝锥定名为机用丝锥，将碳素工具钢或合金工具钢（少量高速钢）滚牙（或切牙）丝锥定名为手用丝锥。实质上它们的工作原理和结构特点完全相同。

① 丝锥结构和几何参数见图 2-15。

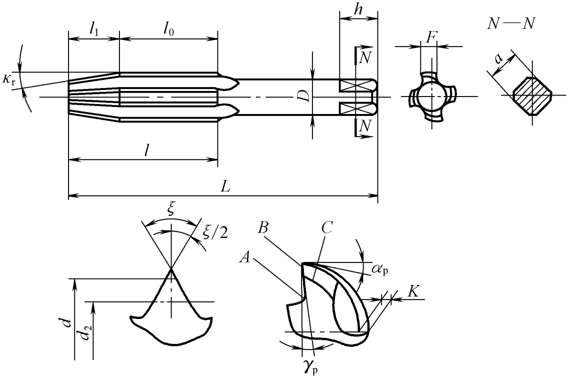


图 2-15　丝锥各部分名称代号

L—丝锥总长　l—螺纹部分长度　l_1—切削锥长度

l_0—校准部分长度　d—大径　d_2—中径　D—柄部直径

h—方头长度　a—方头厚度　F—刃背宽度　κ_r—主偏角

γ_p—前角　α_p—后角　K—后面铲背量

ξ—牙型角　A—沟槽　B—前面　C—后面

② 不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级见表 2-12。

表 2-12 不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级

GB/T 968—2007 丝锥公差带代号	适用于内螺纹的公差带
H1	4H、5H
H2	5G、6H
H3	6G、7H、7G
H4	6H、7H

注：由于影响攻螺纹尺寸的因素很多，如材料性质、机床刚性、丝锥装夹方法、切削速度以及冷却润滑条件等，因此此表只能作为选择丝锥时的参考。

2）常用丝锥规格范围及标准代号（表 2-13）。

（2）板牙

1）圆板牙的结构和几何参数。圆板牙的结构和几何参数见图 2-16。其螺纹部分由切削锥部分和校准部分组成。圆板牙两端面处都有切削锥部分。板牙螺纹中间一段是校准部分，具有完整的齿形，用来校准已切出的螺纹，也是套螺纹时的导向部分。

常用的切削锥角 $2\kappa_r$ 和切削锥长度 l_1 如下：

M1 ~ M6 的板牙，$2\kappa_r = 50°$，$l_1 = (1.3 \sim 1.5)P$（P 为螺距）。

M6 以上的板牙，$2\kappa_r = 40°$，$l_1 = (1.7 \sim 1.9)P$（P 为螺距）。

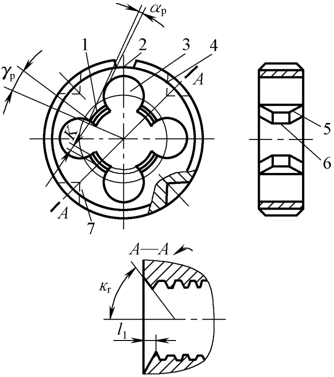


图 2-16　圆板牙结构和几何参数

1—刃瓣　2—调节槽　3—排屑槽　4—调节孔

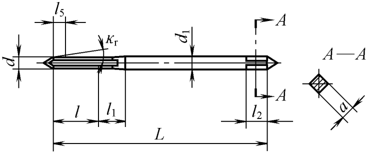
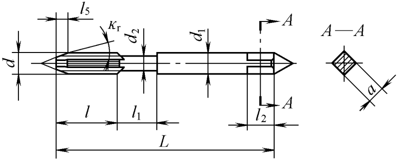
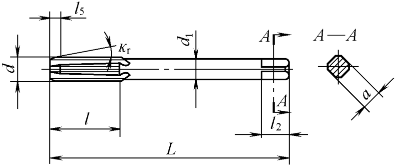
5—切削锥　6—校准部　7—紧固孔

加工非金属的板牙，$2\kappa_r = 75°$。

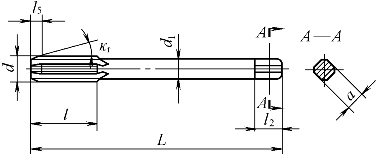
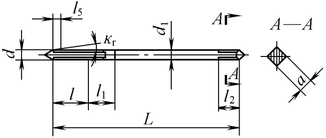
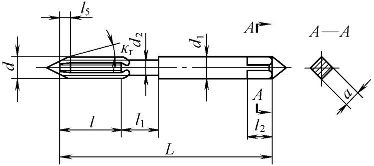
板牙切削锥部分经铲磨以形成后角，在端截面上后角 $\alpha_p = 5° \sim 7°$。

圆板牙的前面是容屑孔的一部分。为简化容屑孔加工和刃磨，板牙的前面一般均制成圆弧形（曲面），因此前角的大小沿着切削刃变化（图 2-17），在螺纹小径处前角 γ_{p1} 最大，大径处前角 γ_p 最小。一般选取 $\gamma_p = 8° \sim 12°$；粗牙板牙 $\gamma_{p1} = 30° \sim 35°$；细牙板牙 $\gamma_{p1} = 25° \sim 30°$。

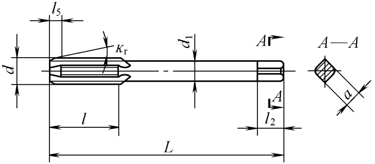
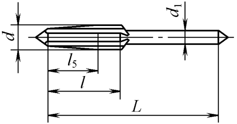
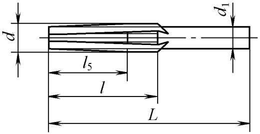
表 2-13　常用丝锥规格范围及标准代号

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
粗柄机用和手用丝锥		粗牙为 M1 ~ M2.5 细牙为 M1 × 0.2 ~ M2.5 ×0.35	GB/T 3464.1—2007
粗柄带颈机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M10 细牙为 M3 × 0.35 ~ M10 ×1.25	GB/T 3464.1—2007
细柄机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M68 细牙为 M3 ×0.35 ~ M100 ×6	GB/T 3464.1—2007

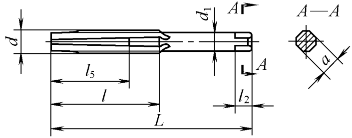
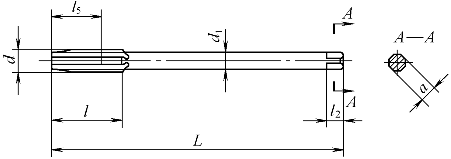
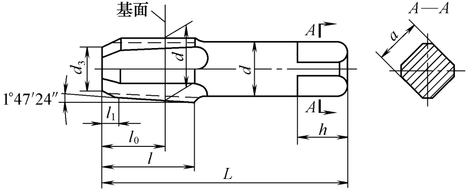
（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
长柄机用丝锥		粗牙为 M3 ~ M24 细牙为 M3 × 0.35 ~ M24 ×2	GB/T 3464.2—2007
粗短柄机用和手用丝锥		粗牙为 M1 ~ M2.5 细牙为 M1 × 0.2 ~ M2.5 ×0.35	GB/T 3464.3—2007
粗短柄带颈机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M10 细牙为 M3 × 0.35 ~ M10 ×1.25	GB/T 3464.3—2007

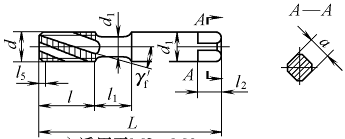
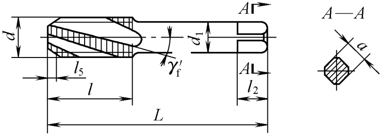
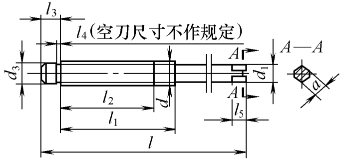
（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
细短柄机用和手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M52 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 ×4	GB/T 3464.3—2007
螺母丝锥（$d \leqslant$ 5mm）		粗牙为 M2 ~ M5 细牙为 M3 ×0.35 ~ M5 × 0.5	GB/T 967—2008
圆柄螺母丝锥（$d > 5 \sim 30$mm）		粗牙为 M6 ~ M30 细牙为 M6 × 0.75 ~ M30 ×1	GB/T 967—2008

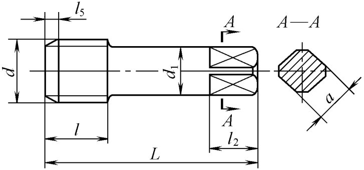
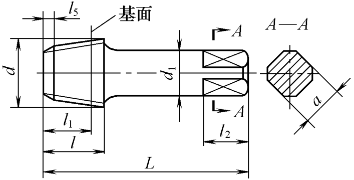
（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
螺母丝锥（$d>5$mm）		粗牙为 M6 ~ M52 细牙为 M6 × 0.75 ~ M52 × 1.5	GB/T 967—2008
长柄螺母丝锥		粗牙为 M3 ~ M33 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 × 1.5	JB/T 8786—1998
米制锥螺纹丝锥		ZM6 ~ ZM60	

（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
螺旋槽丝锥	 a) 适用于M3～M6  b) 适用于M7～M33	粗牙为 M3 ~ M27 细牙为 M3 × 0.35 ~ M33 × 3	GB/T 3506—2008
梯形螺纹丝锥		Tr8 × 1.5 ~ Tr52 × 8	JB/T 9989.1—1999

（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
55° 圆柱管螺纹丝锥		G 系列： G1/16 ~ G4 G—D 系列： GD1/16 ~ GD4 Rp 系列： Rp1/16 ~ Rp4	
55° 圆锥管螺纹丝锥		Rc1/16 ~ Rc4	

注：1. 米制锥螺纹丝锥，适用于加工用螺纹密封的米制锥螺纹（GB/T 1415—2008）。

2. 55°圆柱管螺纹丝锥有 G、GD、Rp 三个系列。G 和 GD 系列适用于加工非螺纹密封的管螺纹丝锥，Rp 系列适用于加工用螺纹密封的管螺纹丝锥。

3. 55°圆锥管螺纹丝锥，适用于加工用螺纹密封的锥管内螺纹。

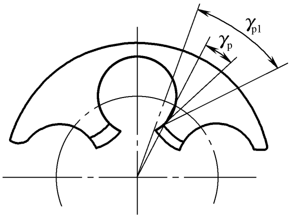


图 2-17　圆板牙前角的变化

M3.5 以上的圆板牙，其外圆上有 4 个紧定螺钉坑和一条 V 形槽。其中两个螺钉坑的轴线通过板牙中心，板牙绞杠上的两个紧定螺钉旋入后传递扭矩。新的圆板牙 V 形槽与容屑孔是不通的，校准部分磨损后，套出的螺纹直径变大，以致超出公差范围，可用锯片砂轮沿 V 形槽中心割出一条通槽，此时 V 形槽就成了调整槽。调节板牙绞杠上另两个紧定螺钉，顶入圆板牙上两个偏心锥坑内，使圆板牙的螺纹孔径缩小。调节时，可使用试切来确定调整是否合格（但这种方法很少采用，即使采用也只适用于没有精度要求的螺纹）。

2）常用板牙规格范围及标准代号（表 2-14）。

3. 攻螺纹前底孔尺寸的计算

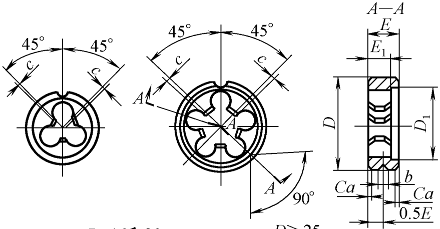
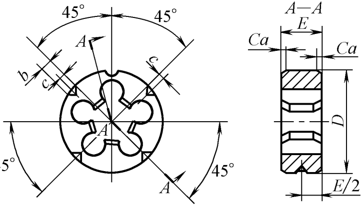
1）普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径见表 2-15。

2）英制螺纹钻底孔用钻头直径见表 2-16。

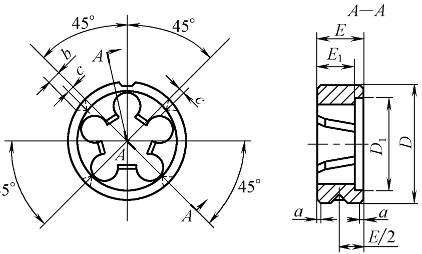
3）55°非密封管螺纹钻底孔用钻头直径见表 2-17。

4）55°密封圆锥管螺纹与 60°圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径见表 2-18。

表 2-14　常用板牙规格范围及标准代号

<table>
<tr><th>类　型</th><th>简　　图</th><th>规格范围</th><th>标准代号</th></tr>
<tr><td>圆板牙</td><td>
D=16和20　D>25</td><td>粗牙为 M1 ~ M68
细牙为 M1 ×0.2 ~ M56 ×4</td><td>GB/T 970.1—2008</td></tr>
<tr><td>55° 圆柱管螺纹圆板牙</td><td></td><td>G1/16 ~ G2 $\frac{1}{4}$</td><td>JB/T 9997—1999</td></tr>
</table>

（续）

类　型	简　　图	规格范围	标准代号
55° 圆锥管螺纹圆板牙		R1/16 ~ R2	JB/T 9998—1999

注：1. 圆板牙适于加工普通螺纹（GB/T 192 ~ 193—2003、GB/T 196 ~ 197—2003），精度为 6g。

2. 55°圆柱管螺纹圆板牙适用于加工“非螺纹密封的管螺纹”（GB/T7307—2001）中 G 系列 A 级和 B 级精度的螺纹。

3. 55°圆锥管螺纹圆板牙适用于加工“用螺纹密封的管螺纹”（GB/T7306. 1—2000、GB/T 7306. 2—2000）中 R 系列的螺纹。

表 2-15　普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径

（单位：mm）

计算公式：

$$D = d - P$$

式中　D——麻花钻直径；

d——螺纹公称直径；

P——螺距。

公称直径 d	螺距 P		钻头直径 D
1	粗	0.25	0.75
	细	0.2	0.8
2	粗	0.4	1.6
	细	0.25	1.75
3	粗	0.5	2.5
	细	0.35	2.65
4	粗	0.7	3.3
	细	0.5	3.5
5	粗	0.8	4.2
	细	0.5	4.5
6	粗	1	5
	细	0.75	5.2

公称直径 d	螺距 P		钻头直径 D
8	粗	1.25	6.7
	细	1 0.75	7 7.2
10	粗	1.5	8.5
	细	1.25 1 0.75	8.7 9 9.2
12	粗	1.75	10.2
	细	1.5 1.25 1	10.5 10.7 11
14	粗	2	11.9
	细	1.5 1.25 1	12.5 12.7 13

（续）

公称直径 d	螺距 P		钻头直径 D
16	粗	2	14
	细	1.5	14.5
		1	15
18	粗	2.5	15.4
	细	2	15.9
		1.5	16.5
		1	17
20	粗	2.5	17.4
	细	2	17.9
		1.5	18.5
		1	19
22	粗	2.5	19.5
	细	2	19.9
		1.5	20.5
		1	21
24	粗	3	20.9
	细	2	21.9
		1.5	22.5
		1	23
27	粗	3	24
	细	2	24.9
		1.5	25.5
		1	26
30	粗	3.5	26.5
	细	3	26.9
		2	27.9
		1.5	28.5
		1	29
33	粗	3.5	29.5
	细	3	29.9
		2	30.9
		1.5	31.5
36	粗	4	32
	细	3	32.9
		2	33.9
		1.5	34.5
39	粗	4	35
	细	3	35.9
		2	36.9
		1.5	37.5

（续）

公称直径 d	螺距 P		钻头直径 D	公称直径 d	螺距 P		钻头直径 D
42	粗	4.5	37.3	48	粗	5	42.7
	细	4 3 2 1.5	37.8 38.9 39.9 40.5		细	4 3 2 1.5	43.8 44.9 45.9 46.5
45	粗	4.5	40.5	52	粗	5	47
	细	4 3 2 1.5	40.8 41.9 42.9 43.5		细	4 3 2 1.5	47.8 48.9 49.9 50.5

表 2-16　英制螺纹钻底孔用钻头直径

计算公式：

螺纹公称直径	铸铁与青铜	钢与黄铜
3/16～5/8in	$D_0=25\left(d-\frac{1}{n}\right)$	$D_0=25\left(d-\frac{1}{n}\right)+0.1$
3/4～$1^1/_2$in	$D_0=25\left(d-\frac{1}{n}\right)$	$D_0=25\left(d-\frac{1}{n}\right)+0.2$

式中　D_0——攻螺纹前钻头直径(mm)；

d——螺纹公称直径(in)；

n——每英寸牙数

（续）

公称直径/in	每英寸牙数	钻头直径/mm		公称直径/in	每英寸牙数	钻头直径/mm	
		铸铁、青铜	钢、黄铜			铸铁、青铜	钢、黄铜
3/16	24	3.7	3.7	7/8	9	19.1	19.3
1/4	20	5.0	5.1	1	8	21.9	22
5/16	18	6.4	6.5	$1^1/_8$	7	24.6	24.7
3/8	16	7.8	7.9	$1^1/_4$	7	27.8	27.9
7/16	14	9.1	9.3	$1^1/_2$	6	33.4	33.5
1/2	12	10.4	10.5	$1^5/_8$	5	35.7	35.8
9/16	12	12	12.1	$1^3/_4$	5	38.9	39
5/8	11	13.3	13.5	$1^7/_8$	$4^1/_2$	41.4	41.5
3/4	10	16.3	16.4	2	$4^1/_2$	44.6	44.7

注：1in = 25.4mm。

表 2-17　55°非密封管螺纹钻底孔用钻头直径

螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm	螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm
1/8	28	8.8	1	11	30.5
1/4	19	11.7	$1^1/_8$	11	35.2
3/8	19	15.2	$1^1/_4$	11	39.2
1/2	14	18.9	$1^3/_8$	11	41.6
5/8	14	20.8	$1^1/_2$	11	45.1
3/4	14	24.3	$1^3/_4$	11	51
7/8	14	28.1	2	11	57

注：1in = 25.4mm。

表 2-18　55°密封圆锥管螺纹与 60°圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径

55°密封圆锥管螺纹			60°圆锥管螺纹		
螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm	螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm
1/8	28	8.4	1/8	27	8.6
1/4	19	11.2	1/4	18	11.1
3/8	19	14.7	3/8	18	14.5
1/2	14	18.3	1/2	14	17.9
3/4	14	23.6	3/4	14	23.2
1	11	29.7	1	$11^1/_2$	29.2
$1^1/_4$	11	38.3	$1^1/_4$	$11^1/_2$	37.9
$1^1/_2$	11	44.1	$1^1/_2$	$11^1/_2$	43.9
2	11	55.8	2	$11^1/_2$	56

注：1in＝25.4mm。

4. 套螺纹前圆杆直径（表 2-19）

表 2-19　套螺纹前圆杆直径

粗牙普通螺纹				英制螺纹			圆柱管螺纹		
螺纹直径 *d*/mm	螺距 *P*/mm	圆杆直径 *D*/mm		螺纹直径 /in	圆杆直径 *D*/mm		螺纹尺寸代号	管子外径 *D*/mm	
		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径
M6	1	5.8	5.9	1/4	5.9	6	1/8	9.4	9.5
M8	1.25	7.8	7.9	5/16	7.4	7.6	1/4	12.7	13

（续）

粗牙普通螺纹				英制螺纹			圆柱管螺纹		
螺纹直径 d/mm	螺距 P/mm	圆杆直径 D/mm		螺纹直径 /in	圆杆直径 D/mm		螺纹尺寸代号	管子外径 D/mm	
		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径
M10	1.5	9.75	9.85	3/8	9	9.2	3/8	16.2	16.5
M12	1.75	11.75	11.9	1/2	12	12.2	1/2	20.5	20.8
M14	2	13.7	13.85	—	—	—	5/8	22.5	22.8
M16	2	15.7	15.85	5/8	15.2	15.4	3/4	26	26.3
M18	2.5	17.7	17.85	—	—	—	7/8	29.8	30.1
M20	2.5	19.7	19.85	3/4	18.3	18.5	1	32.8	33.1
M22	2.5	21.7	21.85	7/8	21.4	21.6	$1^1/_8$	37.4	37.7
M24	3	23.65	23.8	1	24.5	24.8	$1^1/_4$	41.4	41.7
M27	3	26.65	26.8	$1^1/_4$	30.7	31	$1^3/_8$	43.8	44.1
M30	3.5	29.6	29.8	—	—	—	$1^1/_2$	47.3	47.6
M36	4	35.6	35.8	$1^1/_2$	37	37.3	—	—	—
M42	4.5	41.55	41.75	—	—	—	—	—	—
M48	5	47.5	47.7	—	—	—	—	—	—
M52	5	51.5	51.7	—	—	—	—	—	—
M60	5.5	59.45	59.7	—	—	—	—	—	—
M64	6	63.4	63.7	—	—	—	—	—	—
M68	6	67.4	67.7	—	—	—	—	—	—

注：1in = 25.4mm。

四、螺纹的测量

1. 三针测量方法

三针测量是测量外螺纹中径的一种比较精密的方法,适用于精度较高的普通螺纹、梯形螺纹及蜗杆等中径的测量。测量时把三根直径相等的钢针放置在螺纹相对应的螺旋槽中,用千分尺量出两边钢针顶点之间的距离 M,如图 2-18 所示。

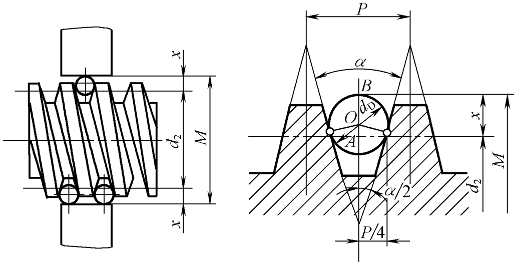


图 2-18　三针测量

(1) 计算公式

$$M = d_2 + d_D\left(1 + \frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right) - \frac{P}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

式中　M——千分尺测得的尺寸(mm);

d_2——螺纹中径(mm);

d_D——钢针直径(mm);

α——工件牙型角(°);

P——工件螺距(mm)。

如果已知螺纹牙型角,也可用表 2-20 所列简化公式计算 M 值。

表 2-20　三针测量 M 值计算的简化公式

螺纹牙型角 α/(°)	简　化　公　式
60	$M = d_2 + 3d_D - 0.866P$
55	$M = d_2 + 3.166d_D - 0.960P$
30	$M = d_2 + 4.864d_D - 1.866P$
40	$M = d_2 + 3.924d_D - 1.374P$
29	$M = d_2 + 4.994d_D - 1.933P$

(2) 钢针直径 d_D 的计算公式

$$d_D = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$$

如果已知螺纹牙型角,也可用表 2-21 所列简化公式计算 d_D。

表 2-21　三针测量钢针直径计算的简化公式

螺纹牙型角 α/(°)	简　化　公　式
60	$d_D = 0.577P$
55	$d_D = 0.564P$
30	$d_D = 0.518P$
40	$d_D = 0.533P$
29	$d_D = 0.516P$

（3）测量普通螺纹时的 M 值(表 2-22)

表 2-22　测量普通螺纹时的 M 值

(单位:mm)

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
1	0. 2	0. 118	1. 051
1	0. 25	0. 142	1. 047
1. 2	0. 2	0. 118	1. 251
1. 2	0. 25	0. 142	1. 247
1. 4	0. 2	0. 118	1. 451
1. 4	0. 3	0. 170	1. 455
1. 7	0. 2	0. 118	1. 751
1. 7	0. 35	0. 201	1. 773
2	0. 25	0. 142	2. 047
2	0. 4	0. 232	2. 090
2. 3	0. 25	0. 142	2. 347
2. 3	0. 4	0. 232	2. 390
2. 6	0. 35	0. 201	2. 673
2. 6	0. 45	0. 260	2. 698
3	0. 35	0. 201	3. 073
3	0. 5	0. 291	3. 115
3. 5	0. 35	0. 201	3. 573
4	0. 5	0. 291	4. 115

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
4	0. 7	0. 402	4. 145
5	0. 5	0. 291	5. 115
5	0. 8	0. 461	5. 171
6	0. 75	0. 433	6. 162
6	1	0. 572	6. 200
8	0. 5	0. 291	8. 115
8	1	0. 572	8. 200
8	1. 25	0. 724	8. 278
9	0. 35	0. 201	9. 073
9	0. 5	0. 291	9. 116
10	0. 35	0. 204	10. 073
10	0. 5	0. 291	10. 115
10	1	0. 572	10. 200
10	1. 5	0. 866	10. 325
11	0. 35	0. 201	11. 073
11	0. 5	0. 291	11. 115
12	0. 5	0. 291	12. 115

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
12	0.75	0.433	12.162
12	1.25	0.724	12.278
12	1.75	1.008	12.372
14	0.5	0.291	14.115
14	0.75	0.443	14.162
14	1.5	0.866	14.325
14	2	1.157	14.440
16	0.5	0.291	16.115
16	0.75	0.433	16.162
16	1.5	0.866	16.325
16	2	1.157	16.440
18	0.5	0.291	18.115
18	0.75	0.433	18.162
18	1.5	0.866	18.325
18	2.5	1.441	18.534
20	0.5	0.291	20.115
20	0.75	0.433	20.162

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
20	1. 5	0. 866	20. 325
20	2. 5	1. 441	20. 534
22	0. 5	0. 291	22. 115
22	0. 75	0. 433	22. 162
22	1. 5	0. 866	22. 325
22	2. 5	1. 441	22. 534
24	0. 75	0. 433	24. 162
24	1	0. 572	24. 200
24	1. 5	0. 866	24. 325
24	2	1. 157	24. 440
24	3	1. 732	24. 649
27	0. 75	0. 433	27. 162
27	1	0. 572	27. 200
27	1. 5	0. 866	27. 325
27	2	1. 157	27. 440
27	3	1. 732	27. 649
30	0. 75	0. 433	30. 162
30	1	0. 572	30. 200

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
30	1. 5	0. 866	30. 325
30	2	1. 157	30. 440
30	3. 5	2. 020	30. 756
33	0. 75	0. 433	33. 162
33	1	0. 572	33. 200
33	1. 5	0. 866	33. 325
33	2	1. 157	33. 440
36	1	0. 572	36. 200
36	1. 5	0. 866	36. 325
36	2	1. 157	36. 440
36	3	1. 732	36. 649
36	4	2. 311	36. 871
39	1	0. 572	39. 200
39	1. 5	0. 866	39. 325
39	2	1. 157	39. 440
39	3	1. 732	39. 649
42	0. 75	0. 433	42. 162

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
42	1	0. 572	42. 200
42	1. 5	0. 866	42. 325
42	2	1. 157	42. 440
42	3	1. 732	42. 649
42	4. 5	2. 595	42. 966
45	0. 75	0. 433	45. 162
45	1	0. 572	45. 200
45	1. 5	0. 866	45. 325
45	2	1. 157	45. 440
45	3	1. 732	45. 649
48	0. 75	0. 433	48. 162
48	1	0. 572	48. 200
48	1. 5	0. 866	48. 325
48	2	1. 157	48. 440
48	3	1. 732	48. 649
48	5	2. 866	49. 080
52	0. 75	0. 433	52. 162
52	1	0. 572	52. 200

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
52	1.5	0.866	52.325
52	2	1.157	52.440
52	3	1.732	52.649
56	1	0.572	56.200
56	1.5	0.866	56.325
56	2	1.157	56.440
56	3	1.732	56.649
56	4	2.311	56.871
56	5.5	3.177	57.196
60	1	0.572	60.200
60	1.5	0.866	60.325
60	2	1.157	60.440
60	3	1.732	60.649
60	4	2.311	60.871
64	1	0.572	64.200
64	1.5	0.866	64.325
64	2	1.157	64.440
64	3	1.732	64.649

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
64	4	2. 311	64. 871
64	6	3. 468	65. 311
68	1	0. 572	68. 200
68	1. 5	0. 866	68. 325
68	2	1. 157	68. 440
68	3	1. 732	68. 649
68	4	2. 311	68. 871
72	1	0. 572	72. 200
72	1. 5	0. 866	72. 325
72	2	1. 157	72. 440
72	3	1. 732	72. 649
72	4	2. 311	72. 871
72	6	3. 468	73. 311
76	1	0. 572	76. 200
76	1. 5	0. 866	76. 325
76	2	1. 157	76. 440
76	3	1. 732	76. 649

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
76	4	2.311	76.871
76	6	3.468	77.311
80	1	0.572	80.200
80	1.5	0.866	80.325
80	2	1.157	80.440
80	3	1.732	80.649
80	4	2.311	80.871
80	6	3.468	81.311
85	1	0.572	85.200
85	1.5	0.866	85.325
85	2	1.157	85.440
85	3	1.732	85.649
85	4	2.311	85.871
85	6	3.468	86.311
90	1	0.572	90.200
90	1.5	0.866	90.325
90	2	1.157	90.440

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
90	3	1.732	90.649
90	4	2.311	90.871
90	6	3.468	91.311
95	1	0.572	95.200
95	1.5	0.866	95.325
95	2	1.157	95.440
95	3	1.732	95.649
95	4	2.311	95.871
95	6	3.468	96.311
100	1	0.572	100.200
100	1.5	0.866	100.325
100	2	1.157	100.440
100	3	1.732	100.649

注：当螺距 P = 1mm 时，计算得到的钢针直径 d_D = 0.577mm，但实际使用的钢针直径为 0.572mm，下同。

（4）测量梯形螺纹时的 M 值（表 2-23）

表 2-23　测量梯形螺纹时的 *M* 值

（单位：mm）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M	螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
10	1.5	0.796	10.230	26	8	4.400	28.472
10	2	1.008	10.171	28	3	1.732	29.376
12	2	1.008	12.171	28	5	2.595	28.791
12	3	1.732	13.326	28	8	4.400	30.472
14	2	1.008	14.171	30	3	1.732	31.326
14	3	1.732	15.326	30	6	3.177	31.256
16	2	1.008	16.171	30	10	5.180	31.535
16	4	2.020	16.361	32	3	1.732	33.326
18	2	1.008	18.171	32	6	3.177	33.256
18	4	2.020	18.361	32	10	5.180	33.535
20	2	1.008	20.171	36	3	1.732	37.326
20	4	2.020	20.361	36	6	3.177	37.256
22	3	1.732	23.325	36	10	5.180	37.535
22	5	2.595	22.791	40	3	1.732	41.326
22	8	4.400	24.472	40	7	3.550	40.705
24	3	1.732	25.326	40	10	5.180	41.535
24	5	2.595	24.791	44	3	1.732	45.326
24	8	4.400	26.472	44	7	3.550	44.705
26	3	1.732	27.325	44	12	6.216	45.842
26	5	2.595	26.791	48	3	1.732	49.326

（续）

螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M	螺纹直径 d	螺距 P	钢针直径 d_D	三针测量值 M
48	8	4.400	50.472	70	16	8.588	73.914
48	12	6.216	49.843	75	4	2.020	75.361
50	3	1.732	51.326	75	10	5.180	76.535
50	8	4.400	52.473	75	16	8.588	78.914
50	12	6.216	51.842	80	4	2.020	80.361
52	3	1.732	53.326	80	10	5.180	81.535
52	8	4.400	54.473	80	16	8.588	83.914
52	12	6.216	53.842	85	4	2.020	85.361
55	3	1.732	56.326	85	12	6.216	86.842
55	9	4.773	56.920	85	18	9.324	87.764
55	14	7.252	57.149	90	4	2.020	90.361
60	3	1.732	61.326	90	12	6.216	91.842
60	9	4.773	60.273	90	18	9.324	92.764
60	14	7.252	62.149	95	4	2.020	95.361
65	4	2.020	65.361	95	12	6.216	96.842
65	10	5.180	66.535	95	18	9.324	97.764
65	16	8.588	68.914	100	4	2.020	100.361
70	4	2.020	70.361	100	12	6.216	101.842
70	10	5.180	71.535	100	20	10.360	103.071

注：当 $P \geqslant 10\text{mm}$ 时，表中所列钢针直径是指最佳直径。

（5）测量英制螺纹时的 M 值（表 2-24）

表 2-24　测量英制螺纹时的 *M* 值

螺纹直径 d/in	每英寸的牙数	钢针直径 d_D/mm	三针测量值 M/mm	螺纹直径 d/in	每英寸的牙数	钢针直径 d_D/mm	三针测量值 M/mm
3/16	24	0.572	4.880	$1^1/_2$	6	2.311	38.640
1/4	20	0.724	6.609	$1^3/_4$	5	2.886	45.455
5/16	18	0.796	8.194	2	$4^1/_2$	3.177	51.822
3/8	16	0.866	9.730	$2^1/_4$	4	3.580	58.318
1/2	12	1.157	12.974	$2^1/_2$	4	3.468	64.668
5/8	11	1.302	16.301	$2^3/_4$	$3^1/_2$	4.400	71.185
3/4	10	1.441	19.546	3	$3^1/_2$	4.091	77.535
7/8	9	1.591	22.741	$3^1/_4$	$3^1/_4$	4.400	83.969
1	8	1.732	25.800	$3^1/_2$	$3^1/_4$	4.400	90.319
$1^1/_8$	7	2.020	29.161	$3^3/_4$	3	4.773	96.806
$1^1/_4$	7	2.020	32.336	4	3	4.773	103.153

注：1in＝25.4mm。

2. 单针测量方法

螺纹中径的测量，除三针测量方法外还有单针测量方法，如图 2-19 所示。其特点是用一根钢针，测量比较简便，计算公式如下：

$$A = \frac{M + d_0}{2}$$

式中　A——单针测量时千分尺上测得的尺寸（mm）；

d_0——螺纹大径的实际

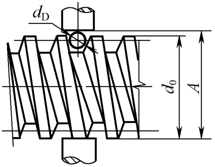


图 2-19　单针测量

尺寸（mm）；

M——三针测量值（mm）。

3. 综合测量方法

综合测量螺纹的方法是采用螺纹量规。普通螺纹量规（GB/T 3934—2003）适用于检验 GB/T 196—2003《普通螺纹基本尺寸》和 GB/T 197—2003《普通螺纹公差》所规定的螺纹。根据使用性能分为工作螺纹量规、验收螺纹量规和校对螺纹量规。

螺纹量规的名称、代号、功能、特征及使用规则见表 2-25。

表 2-25　螺纹量规的名称、代号、功能、特征及使用规则（GB/T 3934—2003）

螺纹量规名称	代号	功　能	特征	使用规则
通端螺纹塞规	T	检查工件内螺纹的作用中径和大径	完整的外螺纹牙型	应与工件内螺纹旋合通过
止端螺纹塞规	Z	检查工件内螺纹的单一中径	截短的外螺纹牙型	允许与工件内螺纹两端的螺纹部分旋合，旋合量应不超过两个螺距；对于三个或少于三个螺距的工件内螺纹，不应完全旋合通过
通端螺纹环规	T	检查工件外螺纹的作用中径和小径	完整的内螺纹牙型	应与工件外螺纹旋合通过

（续）

螺纹量规名称	代号	功　能	特征	使用规则
止端螺纹环规	Z	检查工件外螺纹的单一中径	截短的内螺纹牙型	允许与工件外螺纹两端的螺纹部分旋合，旋合量应不超过两个螺距；对于三个或少于三个螺距的工件外螺纹，不应完全旋合通过
校通—通螺纹塞规	TT	检查新制通端螺纹环规的作用中径	完整的外螺纹牙型	应与新的通端螺纹环规旋合通过
校通—止螺纹塞规	TZ	检查新制通端螺纹环规的单一中径	截短的外螺纹牙型	允许与新的通端螺纹环规两端的螺纹部分旋合，但旋合量应不超过一个螺距
校通—损螺纹塞规	TS	检查使用中通端螺纹环规的单一中径	截短的外螺纹牙型	允许与通端螺纹环规两端的螺纹部分旋合，但旋合量应不超过一个螺距
校止—通螺纹塞规	ZT	检查新制止端螺纹环规的单一中径	完整的外螺纹牙型	应与新的止端螺纹环规旋合通过
校止—止螺纹塞规	ZZ	检查新制止端螺纹环规的单一中径	完整的外螺纹牙型	允许与新的止端螺纹环规两端的螺纹部分旋合，但旋合量应不超过一个螺距
校止—损螺纹塞规	ZS	检查使用中止端螺纹环规的单一中径	完整的外螺纹牙型	允许与止端螺纹环规两端的螺纹部分旋合，但旋合量应不超过一个螺距

第三章　铣 削 加 工

一、铣刀

1. 铣刀切削部分的几何形状和角度的选择

（1）铣刀切削部分几何角度及代号（图 3-1）

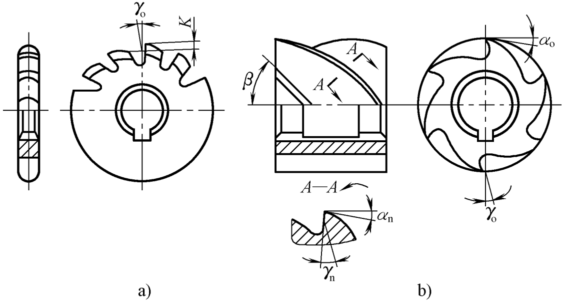


图 3-1　各类铣刀切削部分几何角度及代号

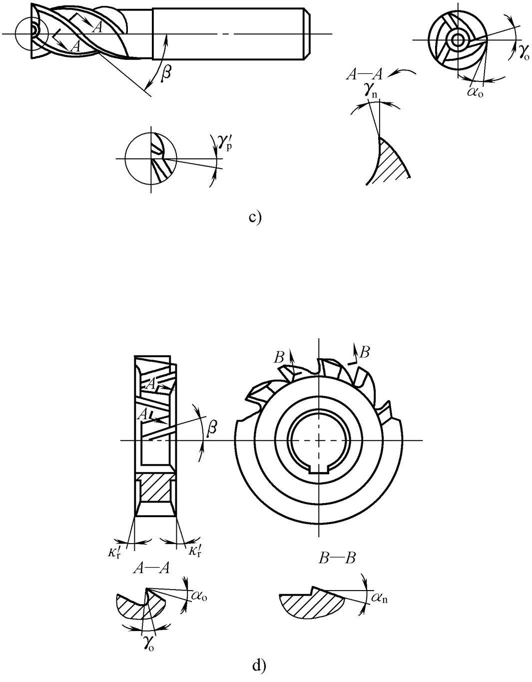
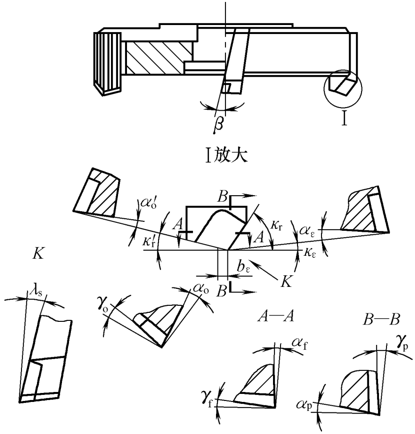


图 3-1 （续）



e)

图 3-1 （续）

a）凸半圆铣刀 b）圆柱形铣刀 c）立铣刀

d）错齿三面刃铣刀 e）端面铣刀

γ_o—前角 γ_p—切深前角 γ_f—进给前角 γ_n—法向前角

γ_p'—副切深前角 α_o—后角 α_o'—副后角 α_p—切深后角

α_f—进给后角 α_n—法向后角 α_ε—过渡刃后角 κ_r—主偏角

κ_r'—副偏角 $\kappa_{r\varepsilon}$—过渡刃偏角 λ_s—刃倾角

β—刀体上刀齿槽斜角 b_ε—过渡刃宽度

K—铲背量

(2) 铣刀角度及选用(表 3-1)

表 3-1 铣刀角度及选用

<table>
<tr><td colspan="8">(1) 高速钢铣刀角度及选用</td></tr>
<tr><td colspan="8">1) 前角 γ_o/(°)</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">加工材料</td><td rowspan="2">面铣刀、圆柱形铣刀、盘铣刀、立铣刀</td><td colspan="2">切槽铣刀、切断铣刀</td><td colspan="2">成形铣刀、角度铣刀</td><td rowspan="2">注</td></tr>
<tr><td>≤3mm</td><td>>3mm</td><td>粗铣</td><td>精铣</td></tr>
<tr><td rowspan="3">碳钢及合金钢 σ_b /MPa</td><td>≤600</td><td>20</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="2">15</td><td>10</td><td rowspan="10">1)用圆柱形铣刀铣削 σ_b <600MPa 钢料,当刀齿螺旋角 β >30°时,取 γ_o = 15°
2)用 γ_o >0°的成形铣刀铣削精密轮廓时,铣刀外形需要修正
3) 用面铣刀铣削耐热钢时,前角取表中较大值;用圆柱形铣刀铣削时,则取较小值</td></tr>
<tr><td>600 ~ 1000</td><td>15</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>>1000</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐热钢</td><td>10 ~ 15</td><td>—</td><td>10 ~ 15</td><td>5</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="3">铸铁 HBW</td><td>≤150</td><td>15</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">10</td><td>15</td><td rowspan="3">5</td></tr>
<tr><td>150 ~ 220</td><td>10</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>>220</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">铜合金</td><td>10</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">铝合金</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">塑料</td><td>6 ~ 10</td><td>8</td><td>10</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

（续）

2）后角、偏角/(°)及过渡刃长度								
铣刀类型		α_o	α_o'	κ_r	κ_r'	$\kappa_{r\varepsilon}$	b_ε/mm	注
面铣刀	细齿	16	8	90	1～2	45	1～2	1）面铣刀的 κ_r 主要按工艺系统的刚性选取。系统刚性较好、铣削余量较小时，取 $\kappa_r=30°\sim45°$；中等刚性而余量较大时，取 $\kappa_r=60°\sim75°$；铣削相互垂直表面的端铣刀，取 $\kappa_r=90°$ 2）用面铣刀铣削耐热钢时，取 $\kappa_r=30°\sim60°$ 3）刃磨铣刀时，在后刀面上可沿刀刃留一刃带，其宽度不得超过0.1mm，但槽铣刀和切断铣刀（圆锯）不留刃带
	粗齿	12		30～90		15～45		
圆柱形铣刀	整体细齿	16	8	—	—	—	—	
	粗齿及镶齿	12						
两面刃及三面刃铣刀	整体	20	6	—	1～2	45	1～2	
	镶齿	16						
切槽铣刀		20	—	—	1～2	—	—	
切断铣刀（$L>3$mm）		20	—	—	0.25～1	45	0.5	
立　铣　刀		14	18	—	3	45	0.5～1.0	
成形铣刀及角度铣刀	尖齿	16	8	—	—	—	—	
	铲齿	12						
键槽铣刀	$d_0\leqslant16$mm	20	8	—	1.5～2	—	—	
	$d>16$mm	16						

（续）

3）螺旋角/(°)						
铣刀类型		β	铣刀类型			β
面铣刀	整体	25 ~ 40	盘铣刀	两面刃		15
	镶齿	10		三面刃		8 ~ 15
圆柱形铣刀	细齿	30 ~ 45		错齿三面刃		10 ~ 15
	粗齿	40		镶齿三面刃	$L > 15$mm	12 ~ 15
	镶齿	20 ~ 45			$L < 15$mm	8 ~ 10
立铣刀		30 ~ 45		组合齿三面刃		15
键槽铣刀		15 ~ 25				

（续）

铣刀类型	加工材料		γ_o	α_o $a_f<0.25$ mm/z	α_o $a_f>0.25$ mm/z	α_o'	$\alpha_{o\varepsilon}$	β (λ_β)	κ_r	κ_r'	$\kappa_{r\varepsilon}$	b_ε /mm	注
（2）硬质合金铣刀角度/(°)及选用													
面铣刀	钢 σ_b /MPa	<650	+5	12 ~ 16	6 ~ 8	8 ~ 10	$=\alpha_o$	$\lambda_s=-12\sim-15$	20 ~ 75	5	$\kappa_r/2$	1 ~ 1.5	1）半精铣和精铣钢（$\sigma_b=600\sim800$MPa）时，$\gamma_o=-5°$，$\alpha_o=5°\sim10°$ 2）在上等工艺系统刚性下，铣削余量小于3mm时，取$\kappa_r=20°\sim30°$；在中等刚性下，余量为3~6mm时，取$\kappa_r=45°\sim75°$ 3）面铣刀对称铣削，初始铣削深度$\alpha_e=0.05$mm时，取$\lambda_s=-15°$；非对称铣削（$\alpha_e<0.45$mm）时，取$\lambda_s=-5°$。当以$\kappa_r=45°$的面铣刀铣削铸铁时，取$\lambda_s=-20°$；当$\kappa_r=60°\sim75°$时，取$\lambda_s=-10°$
		650 ~ 950	5										
		1000 ~ 1200	−10										
	耐热钢		+8	10	10	8 ~ 10	10	$\lambda_s=0$	20 ~ 75	10	$\gamma_s=1$mm	—	
	灰铸铁 HBW	<200	+5	12 ~ 15	6 ~ 8	8 ~ 10	$=\alpha_o$	$\lambda_s=-12\sim-15$	20 ~ 75	5	$\kappa_r'/2$	1 ~ 1.5	
		200 ~ 250	0										
	可锻铸铁		+7	6 ~ 8	6 ~ 8	8 ~ 10	6 ~ 8	$\lambda_s=-12\sim-15$	60	2	$\kappa_r/2$	1 ~ 1.5	

（续）

铣刀类型	加工材料	γ_o	α_o a_f <0.25 mm/z	α_o a_f >0.25 mm/z	α_o'	$\alpha_{o\varepsilon}$	β (λ_β)	κ_r	κ_r'	$\kappa_{r\varepsilon}$	b_ε /mm	注
圆柱形铣刀	碳钢和合金钢 σ_b <750MPa	+5	17		—	—	24 ~ 30	—	—	—	—	后刀面上可允许沿刀刃有宽度不大于 0.1mm 的刃带
	铸铁 <200HBW											
	青铜 <140HBW											
	碳钢和合金钢 σ_b =750 ~ 1100MPa	0	17									
	铸铁 >200HBW											
	青铜 >140HBW											
	碳钢和合金钢 σ_b >1100MPa	−5	15		—	—	20	—	—	—	—	
	耐热钢、钛合金	6 ~ 15	15									

（续）

铣刀类型	加工材料	γ_o	α_o a_f <0.25mm/z	α_o a_f >0.25mm/z	α_o'	$\alpha_{o\varepsilon}$	β (λ_β)	κ_r	κ_r'	$\kappa_{r\varepsilon}$	b_ε /mm	注
圆盘铣刀	钢 σ_b/MPa ≤800	-5	20		4	20	8~15	—	2~5	45	1	
	钢 σ_b/MPa >800	-10	20~25			20~25						
	灰铸铁	+5	10~15		4	10~15	8~15	—	2~5	45	1	1）当工艺系统刚性差及铣削断面大时（$\alpha_p \geqslant d_0$，$\alpha_w \geqslant 0.5d_0$）①，以及 v < 100m/min时，γ_o=5~8° 2）立铣刀端齿前角取-3°~3°，铣削软钢时用大值，铣削硬钢时用小值
	耐热钢、钛合金	10~15	15		—	—	—	—	—	—	—	
立铣刀	碳钢和合金钢 σ_b<750MPa 铸铁<200HBW 青铜<140HBW	+5	17		6	17	22~40	—	3~4	45	0.8~1.3	
	碳钢和合金钢 σ_b=750~1100MPa 铸铁>200HBW 青铜>140HBW	0	17		6	17	22~40	—	3~4	45	0.8~1.3	
	碳钢和合金钢 σ_b>1100MPa	-6	15		6	17	22~40	—	3~4	45	0.8~1.3	
	耐热钢、钛合金	10~15	15		—	—	—	—	—	—	—	

① a_p——背吃刀量；a_w——铣削宽度；d_0——铣刀直径。

（3）铣刀磨钝标准及寿命

1）铣刀磨钝标准(表3-2)

表3-2　铣刀磨钝标准

（1）高速钢铣刀							
铣刀类型		后刀面最大磨损限度/mm					
		钢和铸钢		耐热钢		铸　铁	
		粗铣	精铣	粗铣	精铣	粗铣	精铣
圆柱形铣刀和圆盘铣刀		0.4～0.6	0.15～0.25	0.5	0.20	0.50～0.80	0.20～0.30
端铣刀		1.2～1.8	0.3～0.5	0.70	0.50	1.5～2.0	0.30～0.50
立铣刀	$d_0 \leqslant 15$mm	0.15～0.20	0.1～0.15	0.50	0.40	0.15～0.20	0.10～0.15
	$d_0 > 15$mm	0.30～0.50	0.20～0.25			0.30～0.50	0.20～0.25
切槽铣刀和切断铣刀		0.15～0.20	—	—	—	0.15～0.20	—
成形铣刀	尖齿	0.60～0.70	0.20～0.30	—	—	0.6～0.7	0.2～0.3
	铲　齿	0.30～0.4	0.20	—	—	0.3～0.4	0.2
锯片铣刀		0.5～0.7		—		0.6～0.8	

（续）

（2）硬质合金铣刀

铣刀类型		后刀面最大磨损限度/mm			
		钢和铸钢		铸　铁	
		粗铣	精铣	粗铣	精铣
圆柱形铣刀		0.5~0.6		0.7~0.8	
圆盘铣刀		1.0~1.2		1.0~1.5	
面铣刀		1.0~1.2		1.5~2.0	
立铣刀	带整体刀头	0.2~0.3		0.2~0.4	
	镶螺旋形刀片	0.3~0.5		0.3~0.5	

注：1. 上表适于铣削钢的 YT5、YT14、YT15 和铣削铸铁的 YG8、YG6 与 TG3 硬质合金的铣刀。

2. 铣削奥氏体不锈钢时，许用的后刀面最大磨损量为 0.2~0.4mm。

2）铣刀寿命(表3-3)

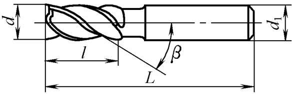
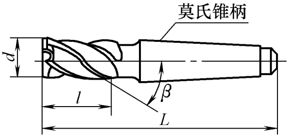
表3-3　铣刀寿命 T　　（单位:min）

<table>
<tr><td colspan="2">铣刀直径 d_0/mm≤</td><td>25</td><td>40</td><td>63</td><td>80</td><td>100</td><td>125</td><td>160</td><td>200</td><td>250</td><td>315</td><td>400</td></tr>
<tr><td rowspan="7">高速钢铣刀</td><td>细齿圆柱形铣刀</td><td colspan="2">—</td><td>120</td><td colspan="2">180</td><td colspan="6">—</td></tr>
<tr><td>镶齿圆柱形铣刀</td><td colspan="3">—</td><td colspan="4">180</td><td colspan="4">—</td></tr>
<tr><td>圆盘铣刀</td><td colspan="3">—</td><td colspan="2">120</td><td colspan="2">150</td><td>180</td><td>240</td><td colspan="2">—</td></tr>
<tr><td>面铣刀</td><td>—</td><td>120</td><td colspan="5">180</td><td colspan="2">240</td><td colspan="2">—</td></tr>
<tr><td>立铣刀</td><td>60</td><td>90</td><td>120</td><td colspan="8">—</td></tr>
<tr><td>槽铣刀、锯片铣刀</td><td colspan="3">—</td><td>60</td><td>75</td><td>120</td><td>150</td><td>180</td><td colspan="3">—</td></tr>
<tr><td>成形铣刀、角铣刀</td><td>—</td><td colspan="3">120</td><td>180</td><td colspan="6">—</td></tr>
<tr><td rowspan="4">硬质合金铣刀</td><td>面铣刀</td><td colspan="3">—</td><td colspan="4">180</td><td colspan="2">240</td><td>300</td><td>420</td></tr>
<tr><td>圆柱形齿刀</td><td colspan="3">—</td><td colspan="4">180</td><td colspan="4">—</td></tr>
<tr><td>立铣刀</td><td>90</td><td>120</td><td>180</td><td colspan="8">—</td></tr>
<tr><td>圆盘铣刀</td><td colspan="3">—</td><td colspan="2">120</td><td>150</td><td>180</td><td>240</td><td colspan="3">—</td></tr>
</table>

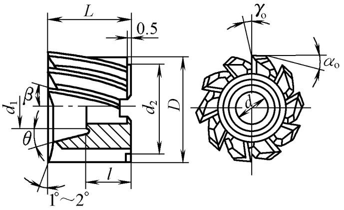
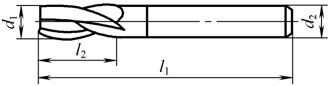
2. 常用铣刀类型、规格范围及标准代号

(1) 立铣刀(表 3-4)。

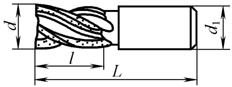
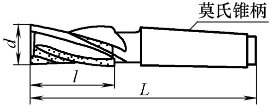
表 3-4 立铣刀

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
直柄立铣刀		$d \times l$ 6×13 ~ 50×75	GB/T 6117.1—1996
莫氏锥柄立铣刀		$d \times l$ 6×13 ~ 36×53	GB/T 6117.2—1996

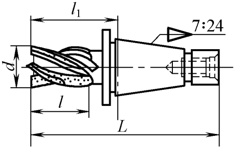
（续）

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
套式立铣刀		$D \times L$ 40×32 $\sim 160 \times 63$	GB/T 1114.1—1998
整体硬质合金直柄立铣刀		$d_1 \times l_2$ $1 \times 3 \sim$ 20×38	GB/T 16770.1—2008

（续）

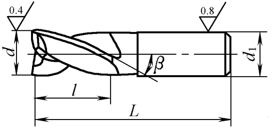
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
硬质合金螺旋齿直柄立铣刀		$d \times l$ 12×20～40×63	GB/T 16456.1—2008
莫氏锥柄硬质合金螺旋齿立铣刀		$d \times l$ 16×25～63×100	GB/T 16456.3—2008

（续）

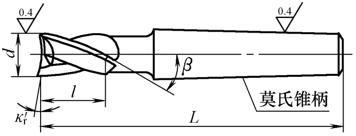
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
7∶24 锥柄硬质合金螺旋齿立铣刀		$d \times l$ 32 × 40 ~ 63 × 100	GB/T 16456. 2—2008

（2）键槽铣刀(表 3-5)。

表 3-5　键槽铣刀

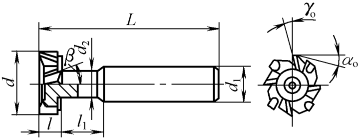
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄键槽铣刀		$d \times l$ 2 × 4 ~ 20 × 22 (短系列) 2 × 7 ~ 20 × 38 (标准系列)	GB/T 1112. 1—1997

（续）

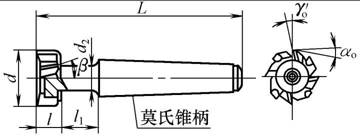
类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
莫氏锥柄键槽铣刀		$d \times l$ 10×13～63×53 （短系列） 10×22～63×90 （标准系列）	GB/T 1112.2 —1997

（3）T 形槽铣刀（表 3-6）。

表 3-6　T 形槽铣刀

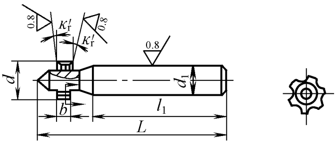
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直柄 T 形槽铣刀		$d \times l$ 11×3.5 ～60×28	GB/T 6124 —2007

（续）

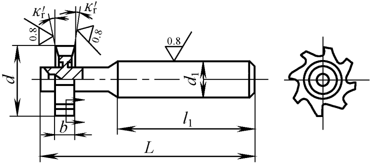
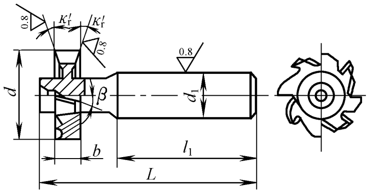
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
莫氏锥柄 T 形槽铣刀		$d \times l$ 18 × 8 ~ 95 × 44	GB/T 6124 —2007

（4）半圆键槽铣刀（表 3-7）。

表 3-7　半圆键槽铣刀

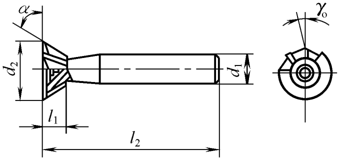
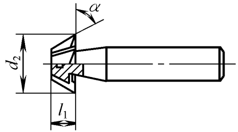
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
普通直柄半圆键槽铣刀	A型 	$d \times b$ 4. 5 × 1 ~ 32. 5 × 10	GB/T 1127 —2007

（续）

类型	简图	规格范围/mm	标准代号
普通直柄半圆键槽铣刀	B型  C型 	$d \times b$ 4. 5 ×1 ~ 32. 5 × 10	GB/T 1127 —2007

（5）燕尾槽铣刀(表 3-8)。

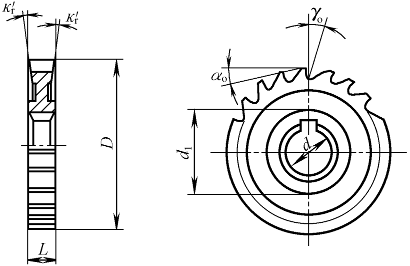
表 3-8　燕尾槽铣刀

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
直柄燕尾槽铣刀 （Ⅰ型）		$d_2 \times l_1$ 16 ×4 ~ 31.5 × 12.5	GB/T 6338 —2004
直柄反燕尾槽铣刀 （Ⅱ型）		$d_2 \times l_1$ 16 ×4 ~31.5 × 12.5	GB/T 6338 —2004

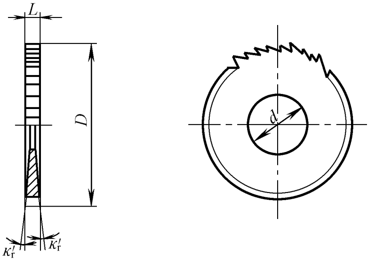
注：α 为 45°、50°、55°、60°4 种规格。

（6）槽铣刀(表 3-9)

表 3-9　槽铣刀

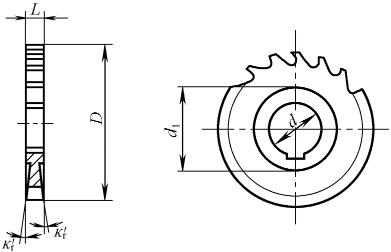
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
尖齿槽铣刀		$D \times d$ 63×22 ~ 125 $\times 32$	GB/T 1119. 1 —2002

（续）

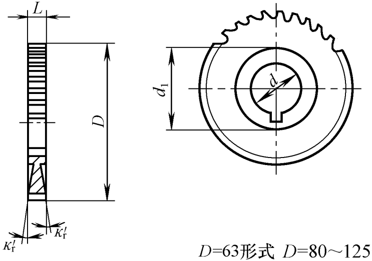
类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
螺钉槽铣刀		$D\times d$ 60×16 ~75 ×22	JB/T 8366 —1996

（7）锯片铣刀(表3-10)。

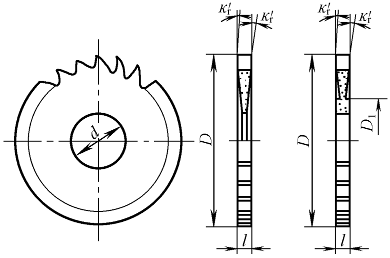
表3-10　锯片铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
粗齿锯片铣刀		$D \times d$ 63×16 ~315 ×40	GB/T 6120 —1996

（续）

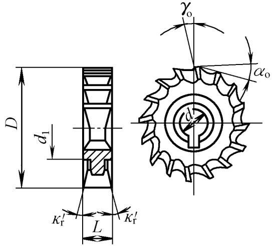
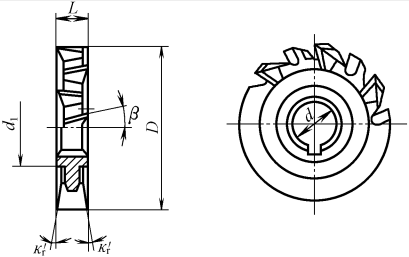
类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
细齿锯片铣刀	 D=63形式 D=80～125形式	$D\times d$ 63×16 ～315 ×40	GB/T 6120 —1996

（续）

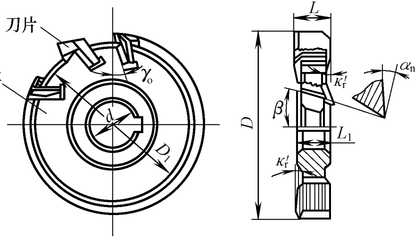
类型	简　图	规格范围 /mm	标准代号
整体硬质合金锯片铣刀	 $D=63$ 形式　$D=80\sim125$ 形式	$D\times d$ 63×16 ~125 $\times22$	

（8）三面刃铣刀(表 3-11)。

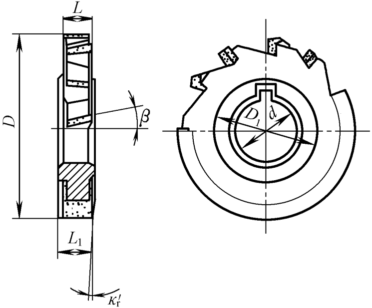
表 3-11　三面刃铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
直齿 三面 刃铣刀		$D \times d$ 50×16 ~ 200 $\times 40$	GB/T 6119. 1 —1996
错齿 三面 刃铣刀		$D \times d$ 50×16 ~ 200 $\times 40$	GB/T 6119. 1 —1996

（续）

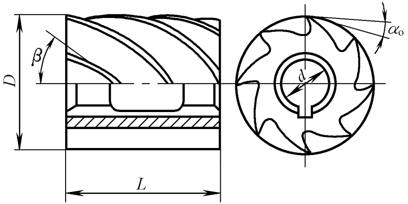
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
镶齿三面刃铣刀		$D \times d$ 80×22 ~315 ×50	JB/T 7953 —1999

（续）

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
硬质合金错齿三面刃铣刀		$D \times d$ 63×22~250×50	GB/T 9062—2006

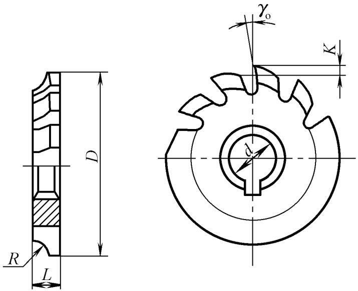
（9）圆柱形铣刀(表 3-12)。

表 3-12　圆柱形铣刀

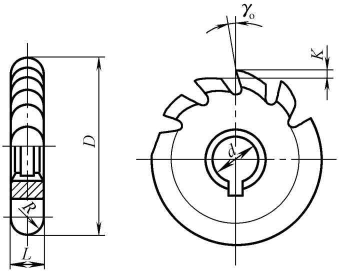
类型	简　　图	规格范围／mm	标准代号
圆柱形铣刀		$D \times d$ 50×22 ~ 100×40	GB/T 1115 —2002

（10）铲背成形铣刀(表 3-13)。

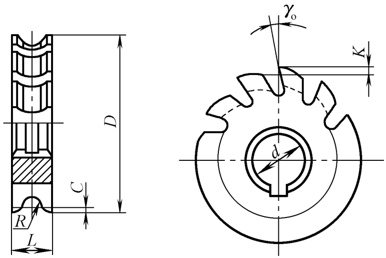
表 3-13　铲背成形铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
圆角铣刀		$R \times D \times d$ 1 ×50 ×16 ~20 ×125 ×32	GB/T 6122 —2007

（续）

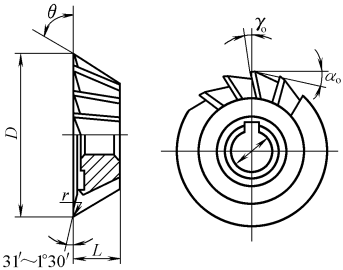
类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
凸半圆铣刀		$R\times D\times d$ $1\times50\times16$ $\sim20\times125$ $\times32$	GB/T 1124.2—2007

（续）

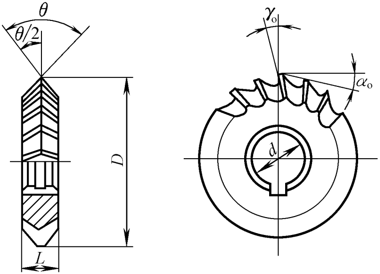
类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
凹半圆铣刀		$R \times D \times d$ 1 ×50 ×16 ~20 ×125 ×32	GB/T 1124.1 —2007

（11）角度铣刀(表 3-14)

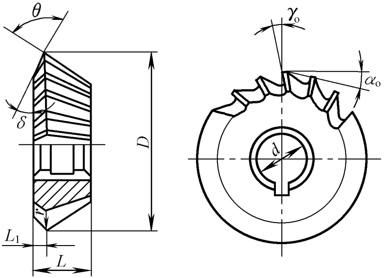
表 3-14　角度铣刀

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
单角铣刀（θ 为 18°~90°）		$D \times d$ 50×16~100×32	GB/T 6128.1—2007

（续）

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
对称双角铣刀（θ为18°~90°）		$D\times d$ 50×16~100×32	GB/T 6128.3—2007

（续）

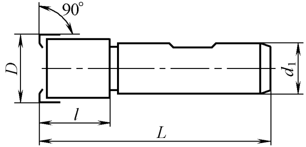
类型	简图	规格范围/mm	标准代号
不对称双角铣刀（θ为50°~100°）（δ为15°~25°）		$D\times d$ 50×16~100×32	GB/T 6128.2—2007

3. 可转位铣刀

可转位铣刀的形式和基本尺寸（表3-15~表3-19）。

表 3-15　可转位削平型直柄立铣刀（GB/T 5340.1—2006）

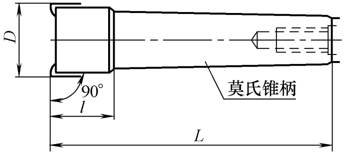
（单位：mm）



<table>
<tr><th colspan="2">D（js14）</th><th colspan="2">d_1（h6）</th><th colspan="2">L（h16）</th><th colspan="2">参考值</th></tr>
<tr><th>基本尺寸</th><th>偏差</th><th>基本尺寸</th><th>偏差</th><th>基本尺寸</th><th>偏差</th><th>l</th><th>齿数</th></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="2">±0.215</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="4">0
−0.011</td><td rowspan="2">70</td><td rowspan="4">0
−1.9</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="4">1</td></tr>
<tr><td>14</td></tr>
<tr><td>16</td><td rowspan="2">±0.125</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">75</td><td rowspan="2">25</td></tr>
<tr><td>18</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="2">±0.26</td><td>20</td><td rowspan="2">0
−0.013</td><td>82</td><td rowspan="5">0
−2.2</td><td>30</td><td rowspan="3">2</td></tr>
<tr><td>25</td><td>25</td><td>96</td><td rowspan="2">38</td></tr>
<tr><td>32</td><td rowspan="3">±0.31</td><td rowspan="3">32</td><td rowspan="3">0
−0.016</td><td>100</td></tr>
<tr><td>40</td><td rowspan="2">110</td><td rowspan="2">48</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
</table>

表 3-16　可转位莫氏锥柄立铣刀（GB/T 5340. 2—2006）

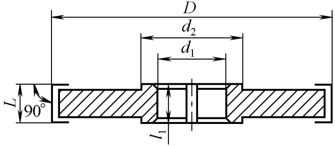
（单位：mm）



D（js14）		L（h16）		莫氏锥柄号	参考值	
基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差		l	齿数
12	±0. 215	90	$^{0}_{-2.2}$	2	20	1
14						
16		94			25	
18						
20	±0. 26	116		3	30	2
25		124	$^{0}_{-2.5}$		38	
32	±0. 31	157				
40				4	48	3
50						

表 3-17　可转位三面刃铣刀（GB/T 5341—2006）

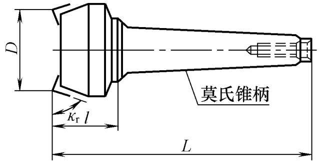
（单位：mm）



<table>
<tr><th colspan="2">D（js16）</th><th colspan="2">L（H12）</th><th colspan="2">d1（H7）</th><th rowspan="2">d_2</th><th rowspan="2">l^{+2}_{10}</th><th rowspan="2">齿数（参考）</th></tr>
<tr><th>基本尺寸</th><th>偏差</th><th>基本尺寸</th><th>偏差</th><th>基本尺寸</th><th>偏差</th></tr>
<tr><td>80</td><td>±0.95</td><td>10</td><td rowspan="2">$^{+0.15}_{0}$</td><td>27</td><td>$^{+0.021}_{0}$</td><td>41</td><td>10</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">100</td><td rowspan="2">±1.10</td><td>10</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="8">$^{+0.025}_{0}$</td><td rowspan="2">47</td><td>10</td><td rowspan="4">8</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="5">$^{+0.18}_{0}$</td><td>12</td></tr>
<tr><td rowspan="2">125</td><td rowspan="4">±1.25</td><td>12</td><td rowspan="2">40</td><td rowspan="2">55</td><td>12</td></tr>
<tr><td>16</td><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="2">160</td><td>16</td><td rowspan="2">40</td><td rowspan="2">55</td><td>16</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>20</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">200</td><td rowspan="2">±1.45</td><td>20</td><td rowspan="2">$^{+0.21}_{0}$</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">69</td><td>20</td><td rowspan="2">12</td></tr>
<tr><td>25</td><td>25</td></tr>
</table>

表 3-18　可转位锥柄面铣刀（GB/T 5342.2—2006）

（单位：mm）

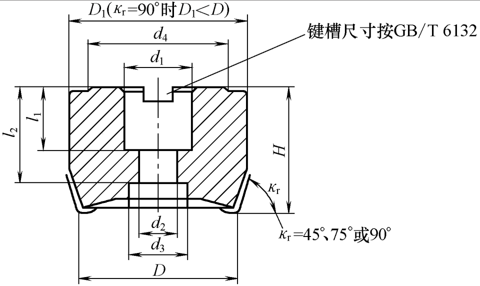


D（js14）		L（h16）		莫氏锥柄号	参考值	
基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差		*l*	齿数
63	±0.37	157	$^{0}_{-2.5}$	4	48	4
80						6

表 3-19　可转位套式面铣刀（GB/T 5342. 1—2006）

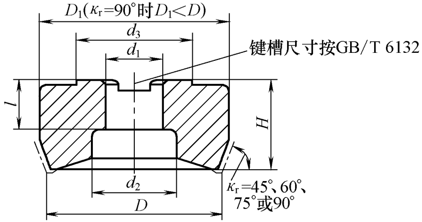
（单位：mm）

（1）A 型面铣刀



D（js16）		d_1（H7）		d_2	d_3	d_{4min}	H	l_1	l_{2max}	紧固螺钉
基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差							
50	±0. 80	22	$^{+0.021}_{0}$	11	18	41	40	20	33	M10
63	±0. 95									
80		27		13. 5	20	49	50	22	37	M12
100	±1. 10	32	$^{+0.025}_{0}$	17. 5	27	59		25	33	M16

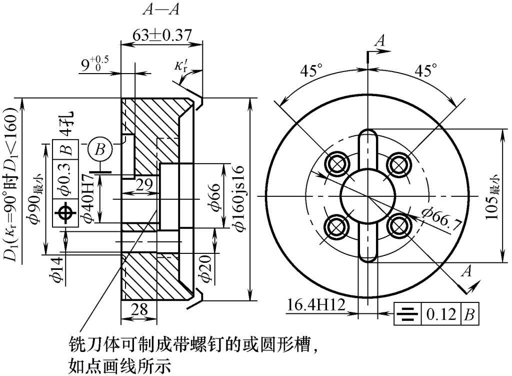
（2）B 型面铣刀



D（js16）		d_1（H7）		d_2	d_{3min}	H	l		紧固螺钉
基本尺寸	偏差	基本尺寸	偏差				min	max	
80	±0.95	27	+0.021 0	38	49	50	22	30	M12
100	±1.10	32	+0.025 0	45	59		25	32	M16
125	±1.25	40		56	71	63	28	35	M20

（续）

（3）C 型面铣刀 $D=160$mm，40 号定心刀杆

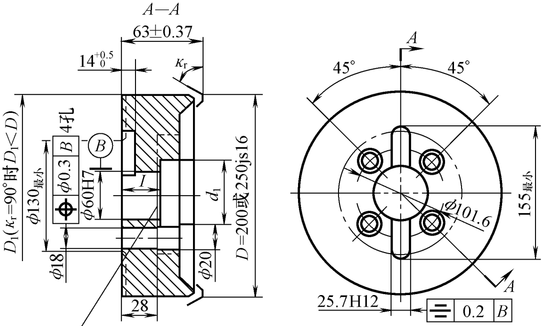


注：1）$\kappa_r=45°$、75°或 90°。

2）在刀体背面上直径 90mm（最小）处的空刀是任选的。

（续）

（4）C 型面铣刀 $D=200$mm 和 250mm，50 号定心刀杆



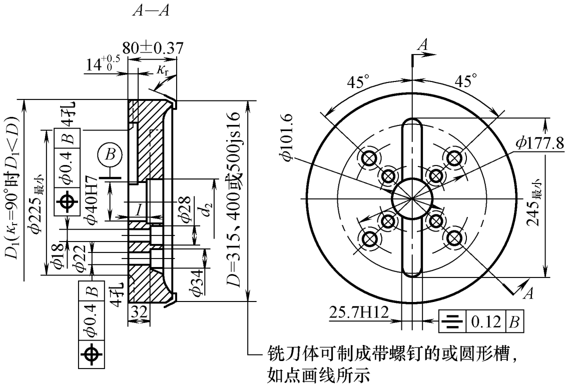
铣刀体可制成带螺钉头座的或圆形槽，
如点画线所示

注：1）$\kappa_r=45°$、75°或 90°。

2）l 和 d_2 由制造厂自定。

3）在刀体背面上直径 130mm（最小）处的空刀是任选的。

（5）C 型面铣刀 $D=315\text{mm}$、400mm 和 500mm，60 号定心刀杆



注：1）$\kappa_r=45°$、$75°$或 $90°$。

2）l 和 d_2 由制造厂自定。

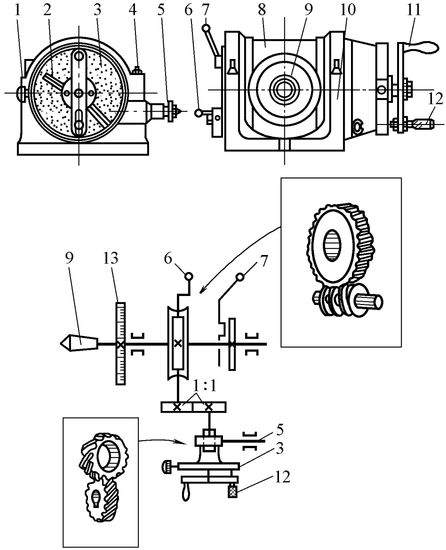
3）在刀体背面上直径 225mm（最小）处的空刀是任选的。

二、分度头及分度方法

1. 分度头传动系统及分度头定数

(1) 分度头传动系统及主要规格（表3-20）

表3-20　分度头传动系统及主要规格



1—分度盘紧固螺钉　2—分度叉　3—分度盘　4—螺母
5—交换齿轮轴　6—蜗杆脱落手柄　7—主轴锁紧手柄
8—回转体　9—主轴　10—基座　11—分度手柄
12—分度定位销　13—刻度盘

（续）

规格名称 \ 型号	F1180（FW80）	F11100（FW100）	F11125（FW125）	F11160（FW160）
中心高/mm	80	100	125	160
主轴锥孔号（莫氏）	3	3	4	4
主轴倾斜角（水平方向）	-6°～+90°	-6°～+90°	-6°～+90°	-6°～+90°
蜗杆副速比	1∶40	1∶40	1∶40	1∶40
定位键宽度/mm	12	14	18	18
主轴法兰盘定位短锥直径/mm	36.512	41.275	53.975	53.975

注：表中括号内型号为旧标准。

（2）分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数（表3-21）

表3-21　分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数

分度头形式	定数	分度盘孔数	交换齿轮齿数
带一块分度盘	40	正面：24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面：46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100
带两块分度盘	40	第一块 正面：24、25、28、30、34、37 反面：38、39、41、42、43 第二块 正面：46、47、49、51、53、54 反面：57、58、59、62、66	

2. 分度方法及计算

(1) 单式分度法计算及分度表(表3-22)

表3-22 单式分度法计算及分度表

$$n(\text{手柄的转数})=\frac{40(\text{分度头定数})}{z(\text{工件等分数})}(\mathrm{r})$$

单式分度表(分度头定数40)

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
2	任意	20	–	15	24	2	16
3	24	13	8	16	24	2	12
4	任意	10	—	17	34	2	12
5	任意	8	—	18	54	2	12
6	24	6	16	19	38	2	4
7	28	5	20	20	任意	2	—
8	任意	5	—	21	42	1	38
9	54	4	24	22	66	1	54
10	任意	4	—	23	46	1	34
11	66	3	42	24	24	1	16
12	24	3	8	25	25	1	15
13	39	3	3	26	39	1	21
14	28	2	24	27	54	1	26

（续）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
28	42	1	18	44	66	—	60
29	58	1	22	45	54	—	48
30	24	1	8	46	46	—	40
31	62	1	18	47	47	—	40
32	28	1	7	48	24	—	20
33	66	1	14	49	49	—	40
34	34	1	6	50	25	—	20
35	28	1	4	51	51	—	40
36	54	1	6	52	39	—	30
37	37	1	3	53	53	—	40
38	38	1	2	54	54	—	40
39	39	1	1	55	66	—	48
40	任意	1	—	56	28	—	20
41	41	—	40	57	57	—	40
42	42	—	40	58	58	—	40
43	43	—	40	59	59	—	40

（续）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
60	42	—	28	86	43	—	20
62	62	—	40	88	66	—	30
64	24	—	15	90	54	—	24
65	39	—	24	92	46	—	20
66	66	—	40	94	47	—	20
68	34	—	20	95	38	—	16
70	28	—	16	96	24	—	10
72	54	—	30	98	49	—	20
74	37	—	20	100	25	—	10
75	30	—	16	102	51	—	20
76	38	—	20	104	39	—	15
78	39	—	20	105	42	—	16
80	34	—	17	106	53	—	20
82	41	—	20	108	54	—	20
84	42	—	20	110	66	—	24
85	34	—	16	112	28	—	10

（续）

工件等分　数	分度盘孔　数	手柄回转　数	转过的孔距数	工件等分　数	分度盘孔　数	手柄回转　数	转过的孔距数
114	57	—	20	160	28	—	7
115	46	—	16	164	41	—	10
116	58	—	20	165	66	—	16
118	59	—	20	168	42	—	10
120	66	—	22	170	34	—	8
124	62	—	20	172	43	—	10
125	25	—	8	176	66	—	15
130	39	—	12	180	54	—	12
132	66	—	20	184	46	—	10
135	54	—	16	185	37	—	8
136	34	—	10	188	47	—	10
140	28	—	8	190	38	—	8
144	54	—	15	192	24	—	5
145	58	—	16	195	39	—	8
148	37	—	10	196	49	—	10
150	30	—	8	200	30	—	6
152	38	—	10	204	51	—	10
155	62	—	16	205	41	—	8
156	39	—	10	210	42	—	8

（2）角度分度法计算及分度表(表3-23)

表3-23　角度分度法计算及分度表

工件角度以“度”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9^\circ}$$

工件角度以“分”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9\times 60'}=\frac{\theta}{540'}$$

工件角度以“秒”为单位时：

$$n=\frac{\theta}{9\times 60\times 60''}=\frac{\theta}{32\,400''}$$

式中　n——分度头手柄转数；

θ——工件等分的角度。

分度头主轴转角			分度盘孔　数	转过的孔距数	折合手柄转　　数
度	分	秒			
0	10	0	54	1	0. 0185
0	20	0	54	2	0. 0370
0	30	0	54	3	0. 0556
0	40	0	54	4	0. 0741
0	50	0	54	5	0. 0926
1	0	0	54	6	0. 1111
1	10	0	54	7	0. 1296
1	20	0	54	8	0. 1481
1	30	0	30	5	0. 1667
1	40	0	54	10	0. 1852
1	50	0	54	11	0. 2037
2	0	0	54	12	0. 2222
2	10	0	54	13	0. 2407
2	20	0	54	14	0. 2593

（续）

分度头主轴转角			分度盘孔　数	转过的孔距数	折合手柄转　　数
度	分	秒			
2	30	0	54	15	0. 2778
2	40	0	54	16	0. 2963
2	50	0	54	17	0. 3148
3	0	0	30	10	0. 3333
3	10	0	54	19	0. 3519
3	20	0	54	20	0. 3704
3	30	0	54	21	0. 3889
3	40	0	54	22	0. 4074
3	50	0	54	23	0. 4259
4	0	0	54	24	0. 4444
4	10	0	54	25	0. 4630
4	20	0	54	26	0. 4814
4	30	0	66	33	0. 5000
4	40	0	54	28	0. 5200
4	50	0	54	29	0. 5370
5	0	0	54	30	0. 5556
5	10	0	54	31	0. 5741
5	20	0	54	32	0. 5926
5	30	0	54	33	0. 6111
5	40	0	54	34	0. 6296
5	50	0	54	35	0. 6481
6	0	0	30	20	0. 6667
6	10	0	54	37	0. 6852

（续）

分度头主轴转角			分度盘孔　数	转过的孔距数	折合手柄转　　数
度	分	秒			
6	20	0	54	38	0.7037
6	30	0	54	39	0.7222
6	40	0	54	40	0.7407
6	50	0	54	41	0.7593
7	0	0	54	42	0.7778
7	10	0	54	43	0.7963
7	20	0	54	44	0.8148
7	30	0	30	25	0.8333
7	40	0	54	46	0.8519
7	50	0	54	47	0.8704
8	0	0	54	48	0.8889
8	10	0	54	49	0.9074
8	20	0	54	50	0.9259
8	30	0	54	51	0.9444
8	40	0	54	52	0.9630
8	50	0	54	53	0.9815
9	0	0			1.0000

（3）直线移距分度法

这种分度方法就是把分度头主轴或侧轴和纵向工作台丝杠用交换齿轮连接起来，移距时只要转动分度手柄，通过齿轮传动，使工作台做精确的移距。这种方法适用于加工精度较高的齿条和直尺刻线等的等分移距分度。

常用的直线移距分度法有两种：

1）主轴交换齿轮法。这种方法是先在分度头主轴后锥孔插入安装交换齿轮心轴，然后在主轴与纵向丝杠之间装上交换齿轮（图 3-2）。当转动分度手柄时，运动便会通过交换齿轮传至纵向丝杠，使工作台产生移距。

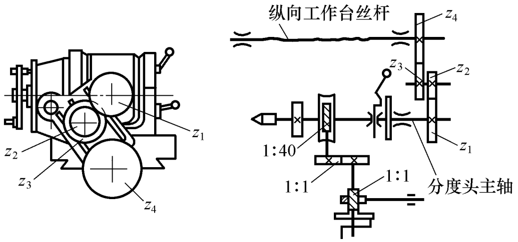


图 3-2　主轴交换齿轮法

交换齿轮计算公式：

$$\frac{40S}{np} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$$

式中　40——分度头定数；

S——工件每格距离；

n——每次移距分度头手柄转数；

p——铣床纵向工作台丝杠螺距。

由于传动经过 1∶40 的蜗杆、蜗轮减速，所以适于

刻线间隔较小的移距分度。

式中的 n 虽然可以任意选取，但为了保证计算配换齿轮的传动比合理，n 尽可能不要选得太大，n 应在 1 ~ 10 之间。

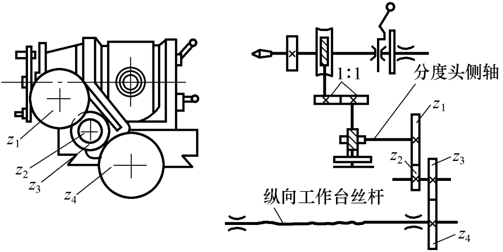


图 3-3　侧轴交换齿轮法

2）侧轴交换齿轮法。这种方法是在分度头侧轴和工作台纵向传动丝杠之间装上交换齿轮（图 3-3）。由于传动不经过 1∶40 的蜗杆、蜗轮传动，所以适用于间隔较大的移距。

交换齿轮的计算公式：

$$\frac{S}{np} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$$

由于分度头传动结构

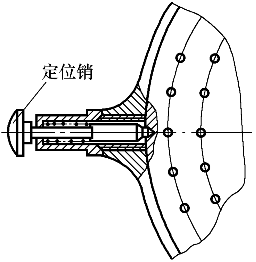


图 3-4　紧固螺孔改装上定位销

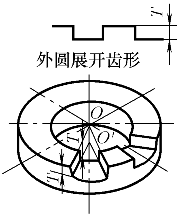
的原因，采用侧轴交换齿轮法，在分度时不能将分度手柄的定位销拔出，应该松开分度盘的紧固螺钉连同分度盘一起转动。为了正确地控制分度手柄的转数，可将分度盘的紧固螺钉，改装为侧面定位销（图3-4），并在分度盘外圆上钻一个定位孔。在分度时，左手拔出侧面定位销，右手将分度手柄连同分度盘一起转动，当摇到预定转数时，靠弹簧的作用，侧面定位销就自动弹入定位孔内。

三、铣削离合器

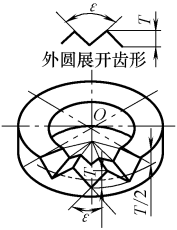
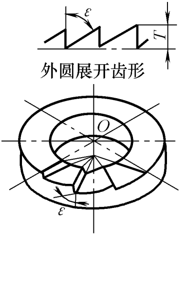
离合器的种类有齿式离合器和摩擦离合器等，前者靠端面齿相互嵌入对方的齿槽传动，后者靠摩擦传动。

1. 齿式离合器的种类及特点（表3-24）

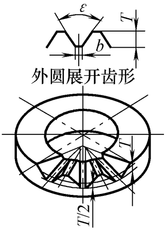
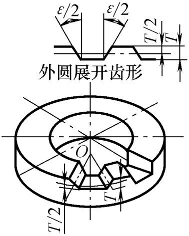
表3-24　齿式离合器的种类及特点

名　称	基　本　齿　形	特　　点
矩形齿离合器		齿侧平面通过工件轴线

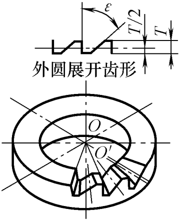
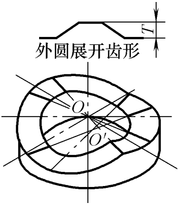
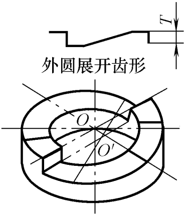
（续）

名　称	基　本　齿　形	特　　点
尖齿离合器		整个齿形向轴线上一点收缩
锯形齿离合器		直齿面通过工件轴线，斜齿面向轴线上一点收缩

（续）

名　称	基　本　齿　形	特　　点
梯形收缩齿离合器		齿顶及槽底在齿长方向都等宽，而且中心线通过离合器轴线
梯形等高齿离合器		齿顶面与槽底面平行，并且垂直于离合器轴线。齿侧高度不变，齿侧中线汇交于离合器轴线

（续）

名　称	基　本　齿　形	特　　点
单向梯形齿离合器		齿顶面与槽底平行，并且垂直于离合器轴线，故齿高不变。直齿面为通过轴线的径向平面，斜齿面的中线交于离合器轴线
双向螺旋齿离合器		离合器结合面为螺旋面，其他特点与梯形等高齿离合器相同
单向螺旋齿离合器		离合器结合面为螺旋面，其他特点与单向梯形齿离合器相同

2. 矩形齿离合器的铣削

（1）奇数齿离合器铣削（图 3-5）。

1）计算铣刀最大宽度：

$$B = \frac{d}{2}\sin\frac{180^\circ}{z}$$

式中 d——离合器孔径（mm）；

z——离合器齿数。

2）将铣刀一侧对准工件中心（图 3-5a）。铣削时，铣刀应铣过槽 1 和槽 3 的一侧，分度后再铣槽 2 和槽 4 的一侧（每次进给同时铣出两个齿的不同侧面），这样依次铣削即可。

3）加工离合器齿侧间隙的方法：

① 将离合器的各齿侧面都铣得偏过中心一个距离（图 3-5b）。这可在对刀时调整铣刀侧刃，使其超过中心 $e=0.1\sim0.5$mm 来达到。这种方法不增加铣削次数，但由于齿侧面不通过中心，离合器结合时，齿侧面只有外圆处接触，影响承载能力，所以这种方法只适用于要求不高的离合器。

② 将齿槽角铣得略大于齿面角（图 3-5c）。这种方法是在离合器铣削之后，再使离合器转过一个角度 $\Delta\theta=1^\circ\sim2^\circ$，再铣一次。把所有齿的同名侧铣切去一些来达到。此法也适用于齿槽角大于齿面角的宽齿槽离合器，此时 $\Delta\theta=$（齿槽角－齿面角）/2。用这种方法铣削离合器，其齿侧面仍是通过轴心的径向平面，齿侧面贴合较好，所以一般用于要求较高的离合器的加工。

（2）偶数齿离合器铣削（图 3-6）

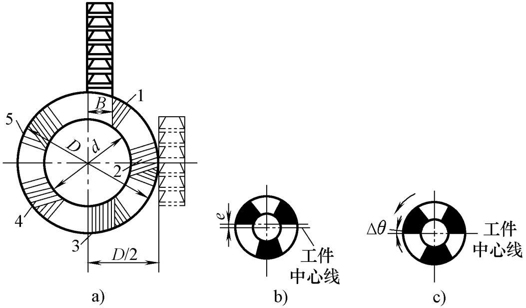


图 3-5　奇数齿离合器的铣削

1）矩形偶数齿离合器的对刀方法和铣刀宽度的选择与奇数齿相同。

2）偶数齿离合器铣削时，每次只能铣削一个槽的一侧，而不能通过整个端面，并且还要防止切伤对面的齿。因此用盘形铣刀铣削偶数齿离合器时，要注意盘形铣刀直径的选择。

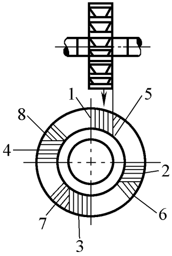


图 3-6　偶数齿离合器的铣削

3）当各齿的同一侧铣完后，将工件转过一个齿槽角（即分度头手柄转过$\frac{20}{z}$），使齿的另一侧与铣刀侧刃平行，再将工作台横向移动一个铣刀宽度距离，使齿的另一侧对准铣刀的另一侧，这样依次进行铣削即可。

4）为确保偶数齿离合器的齿侧留有一定间隙，一

般齿槽角比齿面角铣的大 2°～4°。

3. 尖齿（正三角形）**离合器铣削**（图 3-7）

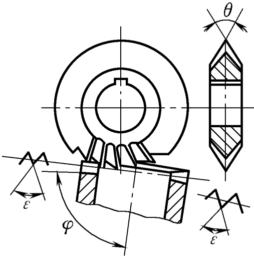


图 3-7　尖齿离合器的铣削

1）选用对称双角铣刀，其廓形角 θ 与离合器齿形角 ε 相等。

2）对刀时，应使双角铣刀刀尖通过工件轴心。

3）计算分度头扳角 φ：

$$\cos\varphi = \tan\frac{90°}{z}\cot\frac{\theta}{2}$$

式中　θ——双角铣刀廓形角；

z——离合器齿数。

4）铣削尖齿离合器时，不论其齿数是奇数还是偶数，每分度一次只能铣出一条齿槽。为保证离合器结合良好，一对离合器应使用同一把铣刀加工。调整背吃刀量，应按大端齿深在外径处进行。为防止齿形太尖，往往采用试切法调整背吃刀量，使齿顶宽度留有 0.2～0.3mm 的平面，以保证齿形工作面接触。

5）常用齿数的 φ 角可查表 3-25。

表 3-25　铣尖齿与梯形收缩齿离合器时分度头的扳角 φ

齿数 z	双角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）			
	40°	45°	60°	90°
	分度头主轴的扳角 φ			
8	26°22′	61°18′	69°50′	78°31′
9	61°01′	64°48′	72°13′	79°50′
10	64°12′	67°31′	74°04′	80°53′
11	66°44′	69°41′	75°35′	81°44′
12	68°48′	71°28′	76°49′	82°26′
13	70°31′	72°57′	77°51′	83°01′
14	71°58′	74°13′	78°44′	83°31′
15	73°13′	75°18′	79°30′	83°58′
16	74°18′	76°15′	80°10′	84°21′
17	75°15′	77°04′	80°46′	84°41′
18	76°05′	77°48′	81°17′	84°59′
19	76°50′	78°28′	81°44′	85°15′
20	77°31′	79°03′	82°10′	85°29′
21	78°07′	79°33′	82°32′	85°42′
22	78°40′	80°03′	82°53′	85°53′
23	79°10′	80°30′	83°11′	86°04′
24	79°38′	80°54′	83°29′	86°14′
25	80°03′	81°16′	83°45′	86°23′
26	80°26′	81°36′	83°59′	86°31′
27	80°48′	81°55′	84°12′	86°39′
28	81°07′	82°12′	84°25′	86°47′

（续）

齿数 z	双角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）			
	40°	45°	60°	90°
	分度头主轴的扳角 φ			
29	81°26′	82°29′	84°36′	86°53′
30	81°43′	82°44′	84°47′	86°59′
31	81°59′	82°58′	84°57′	87°06′
32	82°15′	83°11′	85°07′	87°11′
33	82°29′	83°24′	85°16′	87°16′
34	82°42′	83°36′	85°24′	87°21′
35	82°55′	83°47′	85°32′	87°25′
36	83°07′	83°57′	85°40′	87°29′
37	83°18′	84°07′	85°47′	87°33′
38	83°29′	84°16′	85°53′	87°37′
39	83°39′	84°25′	85°59′	87°41′
40	83°48′	84°33′	86°05′	87°44′
41	83°57′	84°41′	86°11′	87°48′
42	84°06′	84°49′	86°17′	87°51′
43	84°14′	84°56′	86°22′	87°54′
44	84°22′	85°03′	86°27′	87°57′
45	84°30′	85°10′	86°32′	87°59′
46	84°37′	85°16′	86°36′	88°02′
47	84°44′	85°22′	86°41′	88°05′
48	84°50′	85°28′	86°44′	88°07′
49	84°57′	85°34′	86°49′	88°09′
50	85°03′	85°38′	86°52′	88°11′

（续）

齿数 z	双角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）			
	40°	45°	60°	90°
	分度头主轴的扳角 φ			
51	85°09′	85°44′	86°56′	88°14′
52	85°14′	85°48′	86°59′	88°16′
53	85°20′	85°53′	87°03′	88°18′
54	85°25′	85°58′	87°06′	88°19′
55	85°30′	86°02′	87°09′	88°21′
56	85°35′	86°07′	87°13′	88°23′
57	85°40′	86°11′	87°15′	88°25′
58	85°44′	86°15′	87°18′	88°26′
59	85°48′	86°19′	87°21′	88°28′
60	85°53′	86°22′	87°24′	88°30′

4. 梯形收缩齿离合器铣削（图 3-8）

1）选用专用铣刀。铣刀的廓形角 θ 等于离合器的齿形角 ε，齿顶宽 B 应等于离合器的槽底宽度，铣刀廓形的有效工作高度必须大于离合器外圆处的齿深。

2）对刀方法与尖齿离合器铣削相同。

3）分度头扳角 φ 的计算与尖齿离合器铣削相同。

4）常用齿数的 φ 角可查表 3-25。

5. 锯形齿离合器铣削（图 3-9）

1）选用单角度铣刀，其廓形角 θ 与离合器齿形角 ε 相等。

2）对刀时，应使单角度铣刀的端面侧刃通过工件

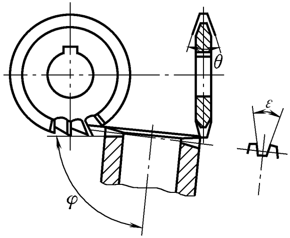


图 3-8　梯形收缩齿离合器的铣削

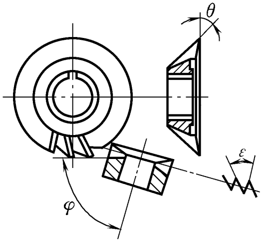


图 3-9　锯齿形离合器的铣削

轴心。

3）计算分度头扳角 φ：

$$\cos\varphi = \tan\frac{180°}{z}\cot\theta$$

式中　θ——单角铣刀廓形角；

z——离合器齿数。

4）铣削方法与铣尖齿离合器基本相同。

5）常用齿数的 φ 角可查表 3-26。

表 3-26　铣锯形齿离合器时分度头的扳角 φ

齿数 z	单角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）					
	45°	50°	60°	70°	75°	80°
	分度头主轴的扳角 φ					
10	71°02′	74°10′	79°11′	83°12′	85°40′	86°42′
11	72°55′	75°44′	80°14′	83°51′	85°29′	87°01′
12	74°27′	77°00′	81°06′	84°24′	85°53′	87°17′
13	75°43′	78°03′	81°49′	84°51′	86°12′	87°30′
14	76°48′	78°57′	82°25′	85°14′	86°20′	87°41′
15	77°43′	79°43′	82°57′	85°33′	86°44′	87°51′
16	78°31′	80°23′	83°24′	85°50′	86°56′	87°59′
17	79°13′	80°58′	83°48′	86°05′	87°07′	88°05′
18	79°50′	81°29′	84°09′	86°19′	87°17′	88°13′
19	80°23′	81°57′	84°28′	86°31′	87°26′	88°18′
20	80°53′	82°21′	84°45′	86°41′	87°34′	88°23′
21	81°19′	82°44′	85°00′	86°51′	87°41′	88°28′
22	81°44′	83°04′	85°14′	87°00′	87°47′	88°32′
23	82°05′	83°22′	85°26′	87°07′	87°53′	88°36′
24	82°26′	83°39′	85°38′	87°15′	87°58′	88°40′
25	82°44′	83°54′	85°49′	87°21′	88°03′	88°43′
26	83°01′	84°09′	85°58′	87°28′	88°08′	88°46′
27	83°17′	84°22′	86°07′	87°33′	88°12′	88°49′
28	83°31′	84°34′	86°16′	87°38′	88°16′	88°51′
29	83°45′	84°45′	86°24′	87°43′	88°19′	88°54′
30	83°58′	84°56′	86°31′	87°48′	88°23′	88°56′
31	84°09′	85°06′	86°38′	87°52′	88°26′	88°58′

（续）

齿数 z	单角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）					
	45°	50°	60°	70°	75°	80°
	分度头主轴的扳角 φ					
32	84°20′	85°15′	86°44′	87°56′	88°29′	89°00′
33	84°31′	85°24′	86°50′	88°00′	88°32′	89°02′
34	84°40′	85°32′	86°55′	88°04′	88°34′	89°03′
35	84°50′	85°40′	87°01′	88°07′	88°37′	89°05′
36	84°58′	85°47′	87°06′	88°10′	88°39′	89°06′
37	85°07′	85°54′	87°11′	88°13′	88°41′	89°08′
38	85°14′	86°00′	87°15′	88°16′	88°43′	89°09′
39	85°22′	86°06′	87°19′	88°18′	88°45′	89°11′
40	85°29′	86°12′	87°23′	88°21′	88°47′	89°12′
41	85°35′	86°18′	87°27′	88°23′	88°49′	89°13′
42	85°42′	86°23′	87°31′	88°26′	88°50′	89°14′
43	85°48′	86°28′	87°34′	88°28′	88°52′	89°15′
44	85°53′	86°33′	87°38′	88°30′	88°54′	89°16′
45	85°59′	86°38′	87°41′	88°32′	88°55′	89°17′
46	86°04′	86°42′	87°44′	88°34′	88°56′	89°18′
47	86°09′	86°46′	87°47′	88°36′	88°58′	89°18′
48	86°14′	86°50′	87°49′	88°37′	88°59′	89°20′
49	86°19′	86°54′	87°52′	88°39′	89°00′	89°21′
50	86°23′	86°58′	87°55′	88°41′	89°02′	89°21′
51	86°27′	87°02′	87°57′	88°42′	89°03′	89°22′
52	86°31′	87°05′	87°59′	88°44′	89°04′	89°23′
53	86°35′	87°08′	88°02′	88°45′	89°05′	89°24′

（续）

齿数 z	单角铣刀角度 θ（即离合器齿形角）					
	45°	50°	60°	70°	75°	80°
	分度头主轴的扳角 φ					
54	86°39′	87°11′	88°04′	88°47′	89°06′	89°24′
55	86°43′	87°14′	88°06′	88°48′	89°07′	89°25′
56	86°46′	87°17′	88°08′	88°49′	89°08′	89°25′
57	86°50′	87°20′	88°10′	88°50′	89°09′	89°26′
58	86°53′	87°23′	88°12′	88°52′	89°10′	89°27′
59	86°56′	87°26′	88°14′	88°53′	89°11′	89°27′
60	86°59′	87°28′	88°15′	88°54′	89°11′	89°28′

6. 梯形等高齿离合器的铣削

1）选择专用铣刀（也可用三面刃铣刀改制）如图 3-10 所示。其铣刀的廓形角 θ 应等于离合器的齿形角 ε，铣刀廓形的有效工作高度 H 大于离合器齿高 T，铣刀的齿顶宽度应小于齿槽最小宽度，以免在铣削时碰伤齿槽的另一侧。

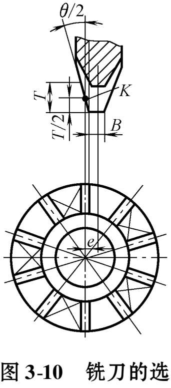


图 3-10 铣刀的选择及对刀

2）一般在卧式铣床上加工。分度头主轴与工作台处于垂直位置，铣削步骤和方法与铣削矩形齿离合器（奇数齿）基本相同，铣刀可通过整个齿面。

3）对刀时，应使铣刀侧刃上

距顶刃 $T/2$ 处的 K 点（图3-10）通过工件的中心。调整时应先用试切方法使铣刀处于工件的中心位置，然后将工作台横向偏移一个距离 $e(e = B_K/2)$，B_K 为铣刀在 K 点处的厚度，可用齿厚游标卡尺测量（图3-11）。

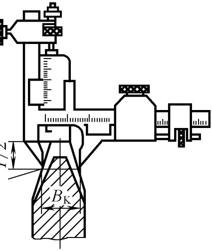


图3-11　测量 B_K 值的示意图

7. 螺旋齿离合器的铣削（图3-12）

螺旋齿离合器有双向作用和单向作用两种（表3-24），其齿形特点与梯形等高齿或单向梯形齿离合器基

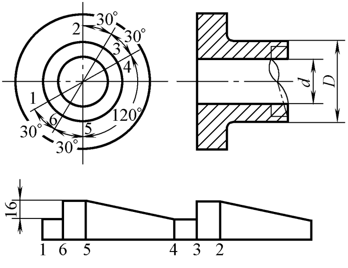


图3-12　螺旋齿离合器

本相同，只是由螺旋面代替斜面而已。螺旋齿离合器一般在立式铣床上加工。

（1）划线

在工件端面上按图样要求划线。图 3-12 中线 2—3 和 5—6 为齿顶平面范围线；线 3—4 和 6—1 为直齿槽范围线；线 1—2 和 4—5 为螺旋面齿槽范围线。

（2）铣直齿槽

参照线 3—4 和 6—1，在立铣床上可采用三面刃铣刀铣直齿槽，分度头主轴与工作台应处于水平位置（图 3-13），具体加工方法与铣削矩形齿离合器（偶数齿）相似，只是在选择刀具宽度和工件偏转一个齿槽角时，

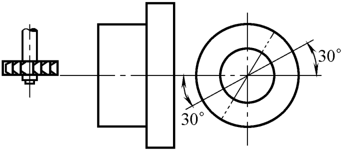


图 3-13　铣直齿槽

需由图 3-13 中所注的齿槽角 30°来代替。

$$B = \frac{d}{2}\sin 30°$$

式中　B——铣刀宽度（mm）；

d——离合器孔径（mm）。

（3）铣螺旋面

按工件导程计算挂轮，轮挂好后，松开固定分度盘的装置，摇动分度手柄，带动分度盘一起转动，检查螺

旋方向是否正确（螺旋方向可用中间轮进行调整）。换上直径等于或小于三面刃铣刀宽度的立铣刀。

加工时将工件要铣的槽的侧面调整至垂直位置（图3-14），立铣刀应进入已铣出的齿槽处。调整好切削位置后，将分度手柄插入附近的孔圈中，这时摇动分度手柄就可以铣削螺旋面。

第一个螺旋面铣削完以后，降低立铣床升降工作台，分度手柄作反方向转动回到螺旋面的起铣点，拔出定位销。分度后，将立铣床升降台升至原来位置，再以相同的方法铣削第二个螺旋面。

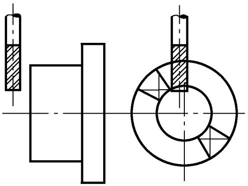


图 3-14　铣螺旋面

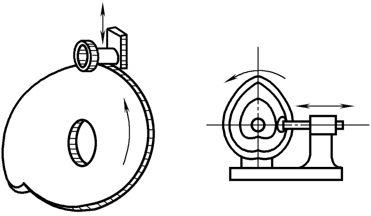
螺旋齿离合器的两个螺旋面要求等高，因此铣削时要分粗、精铣。精铣时，要求立铣刀的相对位置不再变动，即铣削位置与深度相同，这样可保持两个螺旋面对称。

四、铣削凸轮

凸轮的种类比较多，常用的有圆盘凸轮（图 3-15）和圆柱凸轮（图 3-16）。

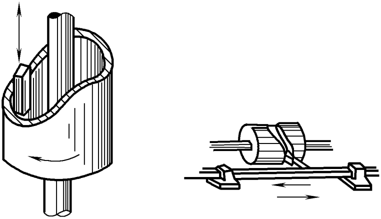
通常在铣床上铣削加工的是等速凸轮。等速凸轮就是当凸轮周边上某一点转过相等的角度时，便在半径方向上（或轴线方向上）移动相等的距离。等速凸轮的工作形面一般都采用阿基米德螺旋面。

1. 凸轮传动的三要素（表 3-27）



a) b)

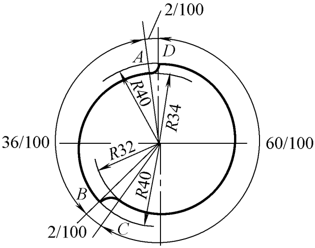
图 3-15 圆盘凸轮



a) b)

图 3-16 圆柱凸轮

表 3-27 凸轮传动的三要素

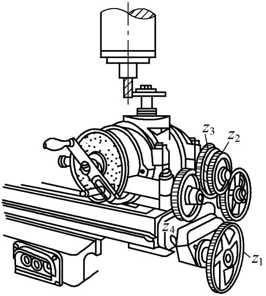
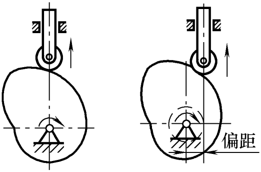


（续）

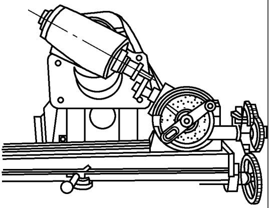
名称	定　　义	计　算　公　式
升高量 H	凸轮工作曲线最高点半径和最低点半径之差	工作曲线 AB 的升高量： $H=(40-34)\text{mm}=6\text{mm}$ 工作曲线 CD 的升高量： $H=(40-32)\text{mm}=8\text{mm}$
升高率 h	凸轮工作曲线旋转一个单位角度或者转过等分圆周的一等分时，从动件上升或下降的距离	凸轮圆周按 360°角等分时，升高率 h 应为 $h=\dfrac{H}{\theta}$ 式中　θ——工作曲线在圆周上所占的度数 凸轮圆周按 100 格等分时，升高率 h 应为 $h=\dfrac{H}{A}$ 式中　A——工作曲线在圆周上所占的百分格数
导程 P_h	工作曲线按一定的升高率，旋转一周时的升高量	凸轮圆周按 360°角等分时，导程 P_h 应为 $P_h=360°h=360°\times\dfrac{H}{\theta}=\dfrac{360°H}{\theta}$ 凸轮圆周按 100 格等分时，导程 P_h 应为 $P_h=100h=100\times\dfrac{H}{A}=\dfrac{100H}{A}$

2. 等速圆盘凸轮的铣削（表 3-28）

表 3-28　等速圆盘凸轮的铣削方法

铣削方法	图　　示	调整与计算
垂直铣削法	 a)  b)　　c)	1）这种方法用于仅有一条工作曲线，或者虽然有几条工作曲线，但它们的导程都相等，并且所铣凸轮外径较大，铣刀能靠近轮坯而顺利切削（图 a） 2）立铣刀直径应与凸轮推杆上的小滚轮直径相同 3）分度头交换齿轮轴与工作台丝杠的交换齿轮计算 $i=\frac{40P_{丝}}{P_h}$ 式中 40——分度头定数； $P_{丝}$——工作台丝杠螺距； P_h——凸轮导程 4）圆盘凸轮铣削时的对刀位置必须根据从动件的位置来确定 若从动件是对心直动式的圆盘凸轮（图 b），对刀时应将铣刀和工件的中心连线调整到与纵向进给方向一致 若从动件是偏置直动式的圆盘凸轮（图 c），则应调整工作台，使铣刀对中后再偏移一个距离。这个距离必须等于从动件的偏距 e，并且偏移的方向也必须和从动件的偏置方向一致

（续）

铣削方法	图　示	调整与计算
扳角度铣削法		1）这种方法用于有几条工作曲线，各曲线的导程不相等，或者凸轮导程是大质数、零星小数，选配齿轮困难等情况 2）分度头主轴与工作台扳角度计算 计算凸轮的导程 P_h 时，选择 P_h'（P_h'可以由自己决定，但 P_h'应大于 P_h，并能分解因子） 计算分度头转动角度 α，即 $$\sin\alpha=\frac{P_h}{P_h'}$$ 3）计算传动比（按选择的 P_h'计算） $$i=\frac{40P_{丝}}{P_h'}$$ 4）计算立铣刀的转动角度 β $$\beta=90°-\alpha$$ 5）计算铣刀长度 $$l=a+H\text{ctg}\alpha+10$$ 式中　a——凸轮厚度（mm）； 10——多留出的切削刃长度 α——分度头主轴扳转角度（°） 6）铣削加工工艺程序与垂直铣削法相似

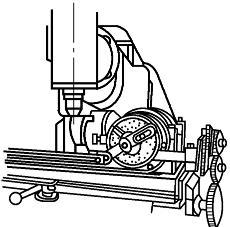
3. 等速圆柱凸轮的铣削

等速圆柱凸轮分螺旋槽凸轮和端面凸轮（图 3-16），其中螺旋槽凸轮的铣削方法和铣削螺旋槽基本相同。所不同的是，圆柱螺旋槽凸轮的工作形面往往是由多个不同导程的螺旋面（螺旋槽）所组成，它们各自所占的中心角是不同的，而且不同的螺旋面（螺旋槽）之间还常用圆弧进行连接，因此导程的计算就比较麻烦。在实际生产中，应根据图样给定的不同条件，采用不同的方法来计算凸轮曲线的导程。

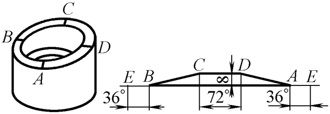
1）等速圆柱螺旋槽凸轮导程的计算。若加工图样上给定螺旋角 β 时，导程计算公式为：$P_h = \pi d\cot\beta$。

2）等速圆柱凸轮（端面）的铣削方法见表 3-29。

表 3-29　等速圆柱凸轮（端面）的铣削方法

铣削方法	图　　示	调整与计算
垂直铣削法	 a)	1）铣削等速圆柱凸轮的原理与铣削等速圆盘凸轮相同，只是分度头主轴应平行于工作台（图 a） 2）铣削时的调整计算方法与用垂直铣削法铣削等速圆盘凸轮相同

（续）

铣削方法	图　　示	调整与计算
垂直铣削法	 b)	3）圆柱凸轮曲线的上升和下降部分需分两次铣削。如图 b 所示，*AD* 段是右旋，*BC* 段是左旋。铣削中以增减中间轮来改变分度头主轴的旋转方向，即可完成左、右旋工作曲线的加工

五、铣削球面

采用铣削法加工圆球，可以在铣床上进行，也可以在车床上进行，其原理是一样的，即一个旋转的刀具沿着一个旋转的物体运动，两轴线相交，但又不重合，那么刀尖在物体上形成的轨迹则为一球面。

铣削时，工件中心线与刀盘中心线要在同一平面上。工件装夹在分度头三爪上，由电动机减速后带动或用机床纵向丝杠（拿掉丝杠螺母）通过交换齿轮带动旋转（图 3-17）。

球面铣削的调整与计算见表 3-30。

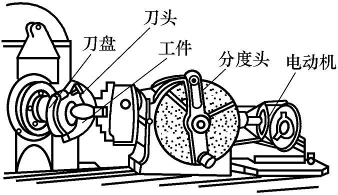
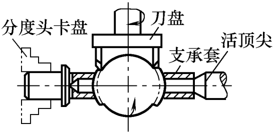
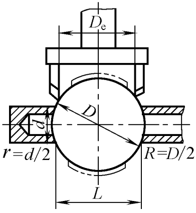
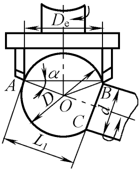
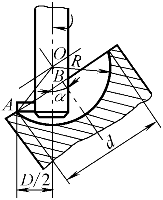


图 3-17 球面铣削装夹及传动机构

表 3-30 球面铣削的调整与计算

加工形式	图　　示	调整与计算
加工整球	 第一次铣削  第二次铣削	整圆球铣削一般要分两次加工(见图) 对刀直径 D_e 应控制在 $L>D_e>\sqrt{2}R$ 的范围内 $L=\sqrt{D^2-d^2}$ $=2\sqrt{R^2-r^2}$ 式中　L——两支承套间距离(mm); D、R——工件的直径和半径(mm); d、r——支承套的直径和半径(mm)

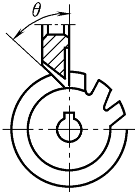
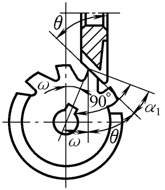
(续)

加工形式	图　　示	调整与计算
加工带柄圆球		带柄圆球的铣削，应将分度头扳一角度 α 1）求分度头应扳角度 α $\tan\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{\frac{d}{2}}{L_1} = \frac{d}{2L_1}$ $L_1 = \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ 2）求对刀直径 D_e $D_e = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + L_1^2}$ 或 $\frac{D_e}{2} = OA\cos\alpha = R\cos\alpha$ 所以 $D_e = 2R\cos\alpha = D\cos\alpha$
加工内球面		内球面铣削时应将分度头扳一角度 α： 1）求分度头应扳角度 α $\angle AOB = 2\alpha$ $\sin2\alpha = \frac{AB}{AO} = \frac{\frac{d}{2}}{R} = \frac{d}{2R} = \frac{d}{D}$ 2）求对刀半径 $\frac{D_e}{2}$ $\frac{D_e}{2} = R\sin\alpha$

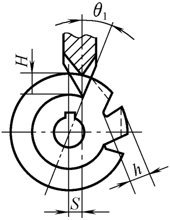
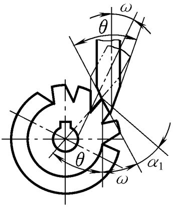
六、刀具开齿

1. 前角 $\gamma_o=0°$的铣刀开齿（表 3-31）

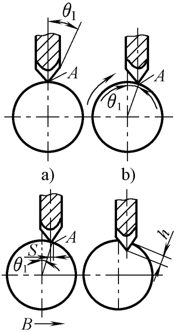
表 3-31　前角 $\gamma_o=0°$的铣刀开齿

工作铣刀	图　　示	调整与计算
用单角铣刀开齿方法	 齿槽加工  齿背加工	1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等 2）将铣刀的端面刀刃对准工件中心,然后切至所要求的齿槽深度,依次将全部齿槽铣出 3）齿背加工,可直接用单角铣刀进行。但应将工件转过一个 ω 角度 $\omega=90°-\theta-\alpha_1$ 式中　ω——分度头主轴的回转角(°)； θ——工件的齿槽角(°)； α_1——工件的齿背角(°)。 然后可按下式计算出分度头手柄转数 n： $n=\frac{\omega}{9°}=\frac{90°-\theta-\alpha_1}{9°}$

（续）

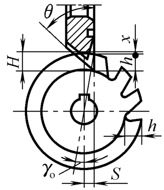
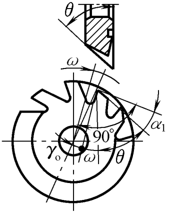
工作铣刀	图　　示	调整与计算
用双角铣刀开齿方法	 齿槽加工  齿背加工	1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等 2）工作铣刀相对工件中心偏移一个距离 S 及偏移后升高量 H 的计算： $S=(R-h)\sin\theta_1$ $H=R-(R-h)\cos\theta_1$ 式中　R——工件半径（mm）； h——工件齿槽深度（mm）； θ_1——双角铣刀的小角度(°) 3）齿背加工：分度头主轴回转角 ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o=0°$ 的齿背时相同，但公式中的 θ 是代表双角铣刀的角度（包括小角度 θ_1 在内）

（续）

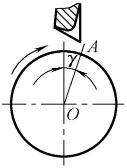
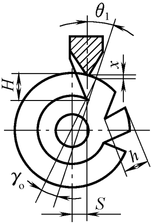
工作铣刀	图　示	调整与计算
用双角铣刀开齿简易对刀方法	a)　b) c)　d)	1）刀尖与工件中心线对正后，铣出浅印 A，见图 a 2）将工件转过一个工作铣刀小角度 θ_1，并使刀尖对正浅印 A，见图 b 3）降低工作台，使工件按图 c 箭头 B 的方向离开刀尖一个距离 S： $S = h\sin\theta_1$ 式中　h——工件齿槽深 4）升高工作台进行铣削。铣刀刀齿铣到浅印 A 后（如图 d），其切削深度已达到尺寸

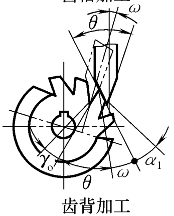
2. 前角 $\gamma_o>0°$的铣刀开齿(表 3-32)

表 3-32　前角 $\gamma_o>0°$的铣刀开齿

工作铣刀	图　　示	调整与计算
用单角铣刀开齿方法	 齿槽加工  齿背加工	1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等 2）工作铣刀相对工件中心偏移一个距离 S 及偏移后升高量 H 的计算： $S=R\sin\gamma_o$ $H=R(1-\cos\gamma_o)+h$ 式中　R——工件半径(mm)； γ_o——工件前角(°)； h——工件齿槽深度(mm)。 3）齿背加工,可直接用单角铣刀进行。但应将工件转过一个 ω 角度 $\omega=90°-\theta-\alpha_1-\gamma_o$ 式中　ω——分度头主轴的回转角(°)； θ——工件的齿槽角(°)； α_1——工件的齿背角(°)； γ_o——工件前角(°)

（续）

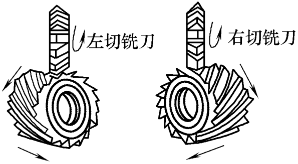
<table>
<tr><th>工作铣刀</th><th>图　　示</th><th>调整与计算</th></tr>
<tr><td>用单角铣刀开齿简易对刀方法</td><td>
</td><td>先使单角铣刀端面刀刃对准工件中心，并铣出浅印 A。然后按图中箭头方向转动一个工件前角 γ_o，再重新使铣刀刀尖与浅印 A 对准，工作台升高一个齿槽深 h 后，即可进行铣削</td></tr>
<tr><td>用双角铣刀开齿方法</td><td>

齿槽加工


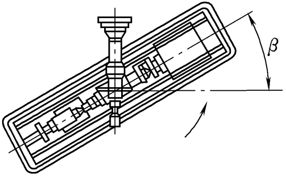
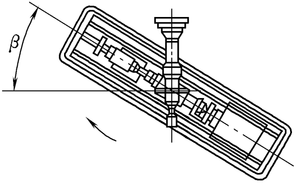
齿背加工</td><td>1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等
2）工作铣刀相对工件中心偏移一个距离 S 及偏移后升高量 H 的计算：
$S=R\sin(\theta_1+\gamma_o)-h\sin\theta_1$
$H=R[1-\cos(\theta_1+\gamma_o)]+h\cos\theta_1$
式中　R——工件半径(mm)；
γ_o——工件前角(°)；
θ_1——双角铣刀的小角度(°)；
h——工件齿槽深(mm)。
3）齿背加工。ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o>0°$ 的齿背时相同</td></tr>
</table>

3. 圆柱螺旋齿铣刀开齿（表 3-33）

表 3-33　圆柱螺旋齿铣刀的开齿

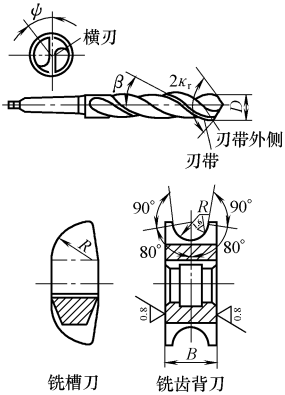
工作铣刀	图　　示	调整与计算
用双角铣刀开齿	 a)　　b)	1）若工件的旋向为右旋时，应选用左切双角铣刀；若工件的旋向为左旋时，应选用右切双角铣刀 若用左切双角铣刀加工左旋齿槽或用右切双角铣刀加工右旋齿槽时，工作台应多扳 3°左右，以免发生“内切”现象 2）铣削右旋齿槽，工作台逆时针转动一个螺旋角；铣削左旋齿槽，工作台顺时针转动一个螺旋角 3）传动比的计算：

（续）

工作铣刀	图　　示	调整与计算
用双角铣刀开齿	 a) 右旋铣刀开齿  b) 左旋铣刀开齿	$i=\frac{40P}{P_h}=\frac{40P}{\pi D\cot\beta}$ 式中　40——分度头定数； P——铣床纵向工作台丝杠螺距（mm）； P_h——工件导程（mm）； D——工件外径（mm）。 4）偏移量 S 和升高量 H 的计算： $S=R\sin(\theta_1+\gamma_{on})-h\sin\theta_1$ $H=R[1-\cos(\theta_1+\gamma_{on})]+h\cos\theta_1$ 式中　R——工件半径（mm）； γ_{on}——工件法向前角（°）； θ_1——工作铣刀的小角度（°）； h——工件的齿槽深（mm）

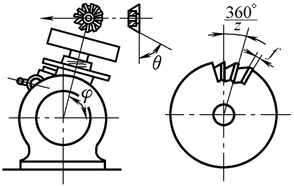
4. 麻花钻头的铣削（表 3-34）

表 3-34　麻花钻头的铣削

工作铣刀	图　示	调整与计算
专用铣刀开齿及铣齿背		1）专用钻头铣刀应依据钻头直径来选用 2）工作台转角大小、转动方向与铣圆柱螺旋齿铣刀相同 3）对刀时一般采用试铣的方法 4）传动比计算与铣圆柱螺旋齿铣刀相同

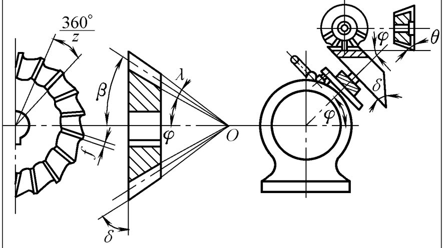
5. 端面刀齿的铣削（表 3-35）

表 3-35　端面刀齿的铣削

工作铣刀	图　　示	调整与计算
用单角铣刀开齿		1）选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等 2）分度头倾斜角 φ 的计算： $$\cos\varphi = \tan\frac{360°}{z}\cot\theta$$ 式中　z——刀坯齿数； θ——工件铣刀截形角 3）偏移量 S 的计算： 当被加工工件前角等于零度时，单角工作铣刀的端面刀刃对准工件中心就可以进行铣削 当被加工工件前角大于零度时，单角工作铣刀端面刀刃对正工件中心后还需将工作台横向移动一个距离 S $$S = R\sin\gamma_{os}$$ 式中　R——工件半径； γ_{os}——工件刀齿端面前角 实际生产中，虽然计算出偏移量 S 值，但为了保证端面刀刃和圆周刀刃互相对齐，平滑连接，往往采用试铣的方法来对刀

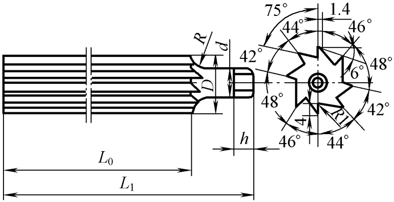
6. 锥面刀齿的铣削（表3-36）

表3-36　锥面刀齿的铣削

工作铣刀	图　示	调整与计算
用单角铣刀开齿		1）工作铣刀的选用及横向偏移量 S 的计算与铣削端面齿相同 2）分度头倾斜角 φ 的计算： $$\varphi=\beta-\lambda$$ $$\tan\beta=\cos\frac{360°}{z}\cot\delta$$ $$\sin\lambda=\tan\frac{360°}{z}\cot\theta\sin\beta$$ 式中　β——工件刀齿齿高中线与工件中心线间夹角（°）； λ——工件刀齿中线与齿槽底线间夹角（°）； z——工件刀齿数； δ——工件锥面与大端端面的夹角（°）； θ——工件铣刀角度（°） 3）实际生产中，铣削深度一般采用试切方法来确定，以保证锥面刀刃棱边宽度数值

7. 铰刀的开齿（表 3-37）

表 3-37　铰刀的开齿

铰刀种类	图　　示	调整与计算
圆柱铰刀		圆柱铰刀的开齿方法与在圆盘形铣刀上开直齿的方法相同

（续）

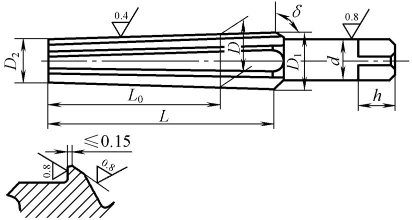
铰刀种类	图　　示	调整与计算
圆锥铰刀		1）圆锥铰刀又有等分齿和不等分齿之分，不等分齿常见 另外，铣削圆锥铰刀时，还要将分度头扳转一个角度，其计算公式与角铣刀开锥面齿时的公式相同，因一般锥铰刀的工作图中，未给出刀齿角 δ，而是给出大小端直径及工作部分长度，这时可按下式求出 δ 角： $$\tan\delta = \frac{D_1 - D_2}{2L}$$ 式中　D_1——铰刀大端直径（mm）； D_2——铰刀小端直径（mm）； L——铰刀圆锥部分长度（mm）。 求出 δ 角后，可代入铣锥面齿的有关公式中，求出分度头的扳转角 φ 即可加工 2）铰刀刀齿的不等分分度可查表3-38

表 3-38　铰刀刀齿的不等分分度表

（分度头定数 40，铣 6～16 齿铰刀时，取用 49 孔分度盘）

铰刀齿数	第一个角度	转数	孔数	第二个角度	转数	孔数	第三个角度	转数	孔数	第 4 个角度	转数	孔数
6	58°2′	6	22	59°53′	6	32	62°5′	6	44			
8	42°	4	32	44°	4	44	46°	5	6	48°	5	16
10	33°	3	34	34°30′	3	41	36°	4	—	37°30′	4	8
12	27°30′	3	3	28°30′	3	8	29°30′	3	14	30°30′	3	19
14	23°30′	2	30	24°15′	2	34	25°	2	38	25°45′	2	43
16	20°30′	2	14	21°	2	17	21°30′	2	20	22°15′	2	23
铰刀齿数	第 5 个角度	转数	孔数	第 6 个角度	转数	孔数	第 7 个角度	转数	孔数	第 8 个角度	转数	孔数
6												
8												
10	39°	4	15									
12	31°30′	3	24	32°30′	3	30						
14	26°30′	2	46	27°	3	—	28°	3	5			
16	22°45′	2	26	23°15′	2	29	24°	2	32	24°45′	2	35

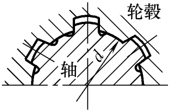
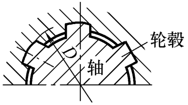
七、铣削花键

花键联接是利用花键轴上的花键齿与花键孔相应的花键槽相配合进行传动的。

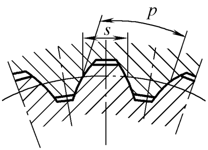
花键轴的种类较多，按齿廓的形状可分为矩形齿、梯形齿、渐开线齿和三角形齿等。

花键的定心方法有三种（表3-39），但一般情况下，均按大径定心。矩形齿花键轴由于加工方便，强度较高，而且易于对正，所以应用较广。

表3-39　花键的定心方式

定心方式	图　　示	特点及用途
小径定心		小径定心是矩形花键联接最精密的方法，定心精度高。多用于机床行业
大径定心		大径定心的矩形花键联接加工方便，定心精度较高，可用于汽车、拖拉机和机床等行业

（续）

定心方式	图　　示	特点及用途
齿形定心		齿形定心方式用于渐开线花键。在受载情况下能自动定心，可使多数齿同时接触。有平齿根和圆齿根两种，圆齿根有利于降低齿根的应力集中。适用于载荷较大的汽车、拖拉机变速箱轴等

花键轴可以在专用的花键铣床上采用滚切法进行加工，这种方法有较高的生产效率和加工精度。但在没有专用花键铣床或修配较少数量的零件时，也可以在普通卧式铣床上进行铣削加工。

1. 用单刀铣削矩形齿花键轴

1）工件的装夹与校正。先把工件的一端装夹在分度头的三爪自定心卡盘内，另一端由尾座顶尖顶紧，然后用百分表按下列三个方面进行校正（图 3-18）。

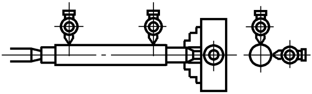


图 3-18　花键轴铣削前的校正

①　工件两端的径向圆跳动量。

②　工件的上母线相对于工作台台面的平行度。

③　工件的侧母线相对于纵向工作台移动方向的平行度。

2）铣刀的选择和安装如下：

①　铣削键侧用刀具　选用直齿三面刃铣刀，外径尽可能小些，以减少铣刀的端面跳动，使铣削平稳，保证键侧有较好的表面粗糙度。铣刀宽度也应尽量小些，以免在铣削中伤及邻齿齿侧。

②　铣削小径用刀具　选用厚度为 2 ~ 3mm 的细齿锯片铣刀铣削，或者自制凹圆弧形成形单刀头（用高速钢磨制）铣削（图 3-19）。

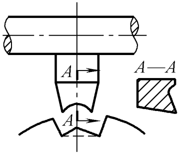


图 3-19　铣削小径用成形单刀头

铣刀安装时，可将三面刃铣刀与锯片铣刀，以间隔适当的距离安装在同一根刀杆上。这样在加工时，只要移动横向工作台，就可以将花键的键侧及槽底先后铣出，避免了装拆刀具的麻烦。

3）对刀。对刀时必须使三面刃铣刀的侧面刀刃和花键键侧重合，这样才能保证花键的宽度和键侧的对称性。常用的对刀方法有以下几种：

①　侧面接触对刀方法。先使三面刃铣刀的侧面刀齿微微接触工件外圆表面，然后垂直向下退出工件，再使横向工作台朝铣刀方向移动一个距离 S。

$$S = \frac{D - b}{2}$$

式中　D——花键外径（mm）；

　　　b——花键键宽（mm）。

这种对刀方法简单，对刀时 D 应按实测的尺寸计算。但这种方法有一定的局限性，即当工件外径较大时，由于受铣刀直径的限制，刀杆可能会和工件相碰，此时就不能采用这种方法对刀。

② 切痕法对刀。如图 3-20 所示，先由操作者目测使工件中心尽量对准三面刃铣刀中心，然后开动机床，并逐渐升高工作台，使铣刀圆周刀刃少量切削工

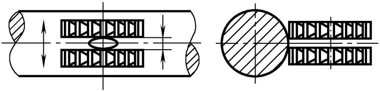


图 3-20 切痕法对刀

件，再将横向工作台前后移动，就可以在工件上切出一个椭圆形痕迹，只要将工作台逐渐升高，痕迹的宽度也会加宽，当痕迹宽度等于花键键宽后，可移动横向工作台，使铣刀的侧面与痕迹边缘相切，即完成对刀的目的。为了去掉这个痕迹，必须在对刀之后将工件转过半个齿距，才能开始铣削。

③ 划线法对刀。如图 3-21 所示，采用这种方法对刀时，先要在工件上划线，划线顺序是：用高度尺先在工件外圆柱面的两侧各划一条中心线。然后通过分度头将工件转过 180°，

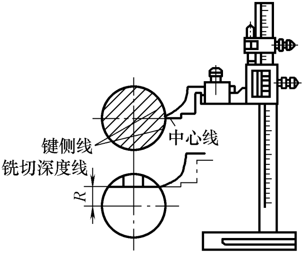


图 3-21 划线法对刀

再用高度尺试划一次。两次所划的中心线重合即可，否则应调整高度尺高度重划，直到划出正确的中心线为止。然后，分别升高和降低半个花键键宽划出两条键侧线。

中心线和键侧线划好后，再通过分度头将工件转过90°，使划线部分外圆朝上，并用高度尺在工件端面划出花键的铣刀深度线。

在铣削时，只要使三面刃铣刀的侧面刀刃对准所划的键侧线即可。

4）铣削过程如下：

① 铣键侧。对刀之后，可以先依次铣完花键的一侧（图3-22a），然后再移动横向工作台，依次铣完花键的另一侧（图3-22b）。工作台应向铣刀方向移动，移动的距离 S 可按下式计算：

$$S = B + b$$

式中 B——三面刃铣刀宽度（mm）；

b——花键键宽（mm）。

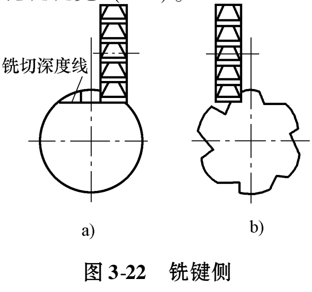


图3-22 铣键侧

移动横向工作台后在铣削花键这侧时，应先试切一段长度后，测量其键宽尺寸是否合格，然后进行调整。

② 铣削小径圆弧面。键侧铣好以后，槽底的凸起余量就可用装在同一根刀杆上的锯片铣刀铣削掉。铣削前应使锯片铣刀对准工件的中心，如图 3-23a 所示，然后摇动分度头，使工件转过一定角度，从靠近键的一侧开始铣削（图 3-23b），这时将工作台升高到铣切深度，再摇动纵向进给进行铣削，铣完一刀后，摇动分度头手柄，转过几个孔距使工件稍转一些再铣第二刀，这样铣出的小径是呈多边形的。因此，每铣一刀后工件转过的角度越小，铣削次数越多，小径就越接近一个圆弧（图 3-23c）。

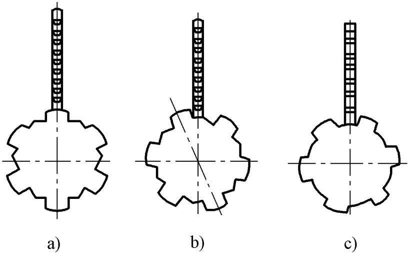


图 3-23　铣槽底圆弧面

③ 凹圆弧形成形单刀头铣削小径圆弧面（图 3-19）。用这种方法铣削小径圆弧可一次完成，但必须注意，使用这种方法对刀比较麻烦，若对刀不准会使铣出的小径圆弧中心和工件不同心。对刀的方法是先将单刀

头装夹在专用的刀杆上；而在分度头三爪自定心卡盘和尾座顶尖之间，装上一个与工件完全相同的试件，并要进行校正，然后开动机床，逐渐升高工作台及横向移动工作台，使凹圆弧形刀头的两尖角同时朝着试件的表面即可。对刀完毕后，锁紧横向工作台拆下试件，换上已铣好键侧的花键轴。重新校正后，摇动分度头手柄使花键槽对准刀头凹圆弧后即可铣削加工。

2. 用组合铣刀铣削矩形齿花键轴

用组合铣刀铣削花键时，工件的装夹和调整与单刀铣削花键相同，但在选择和安装铣刀时应注意以下几点：

1）两把铣刀直径必须相同。

2）两把铣刀的间距应等于花键宽度，可用铣刀之间的垫圈或垫片的厚度来保证，并要经过试切确定齿宽在公差范围内。

3）对刀方法如图 3-24 所示，与用单刀铣削花键时“用侧面接触对刀的方法”基本相同，但工作台横向移动距离 S 的计算有所不同。

$$S = \frac{D}{2} + B + \frac{b}{2}$$

式中　D——工件外径（mm）；

B——一把铣刀的宽度（mm）；

b——花键键宽（mm）。

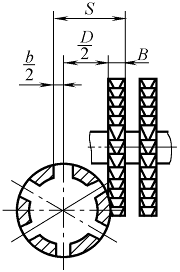


图 3-24　用组合铣刀对刀方法

对刀结束后，紧固横向工作台，调整好切削深度，即可开始铣削，采

用组合铣刀铣削花键键侧和槽底时，可将工件经过两次装夹分别铣削，这样可以避免铣削一根花键轴都要移动横向工作台和调整铣削深度的麻烦。

3. 用硬质合金组合刀盘精铣花键轴

采用三面刃铣刀（高速钢）铣削花键，其键侧表面粗糙度一般只能达到 $Ra3.2\mu m \sim 6.3\mu m$，而且效率也较低。在加工批量较大的花键轴时，可先用高速钢成形铣刀将花键轴的小径加工好，而键侧留有精铣余量，然后用硬质合金组合刀盘精铣键侧（图 3-25）。刀盘上共有两组刀，其中一组刀（共两把）为铣花键两侧用，另一组刀（也是两把）为加工花键两侧倒角用，每组刀的左右刀齿间的距离均可根据键宽或花键倒角的尺寸需要进行调整。使用这种刀盘精铣花键轴，不但效率高，而且表面粗糙度可达 $Ra0.8 \sim 1.6\mu m$。

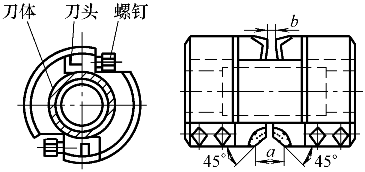
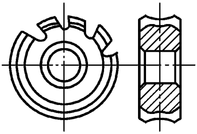
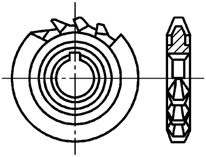
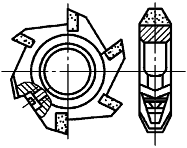
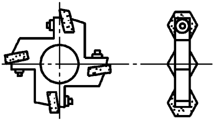


图 3-25　硬质合金组合刀盘

4. 用成形铣刀铣削花键轴

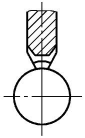
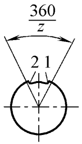
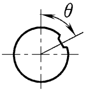
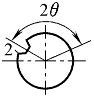
（1）花键成形铣刀的种类（表 3-40）

表 3-40　花键成形铣刀的种类

名称	图　　示
铲齿成形铣刀	
尖齿成形铣刀	
焊接硬质合金成形铣刀	
机夹式硬质合金成形铣刀	

（2）用成形铣刀铣削花键轴的对刀方法（表 3-41）

表 3-41 用成形铣刀铣削花键轴的对刀方法

	先用目测法使铣刀对准工件中心，开动机床，升高工作台，使成形铣刀的两尖角同时接触工件外圆表面
	按花键深度的 3/4 铣削一刀，退出工件，检查花键的对称性
	工件沿顺时针方向转动 θ 角，θ 角按下式计算： $$\theta = 90° - \frac{180°}{z}$$ 式中 z——花键轴键数 用杠杆百分表测量键侧 1 的高度
	沿逆时针方向将工件转过 2θ 角，用杠杆百分表测量键侧 2 的高度。若键侧 1、2 的高度相等，则说明花键的对称性很好；若高度不等，应做微量调整。当键侧 1 比键侧 2 高 Δx 时，应将横向工作台移动距离 S，使键侧 1 靠向铣刀。S 可用下式计算： $$S = \frac{\Delta x}{2\cos\frac{180°}{z}}$$ 按花键深度调整好机床，即可铣削花键

5. 铣削花键轴时产生的误差及解决方法（表 3-42）

表 3-42　铣削花键轴时产生的误差及解决方法

<table>
<tr><th colspan="2">加工误差</th><th>产生原因</th><th>解决方法</th></tr>
<tr><td colspan="2">用成形铣刀加工时，键侧产生波纹</td><td>刀杆与挂架配合间隙过大，并缺少润滑油，铣削时有不正常声音产生</td><td>调整间隙，加注润滑油或改装滚动轴承挂轮架</td></tr>
<tr><td colspan="2">用成形铣刀加工时，键侧及槽底均有深啃现象</td><td>铣削过程中，中途停刀</td><td>铣削中途不能停止进给运动</td></tr>
<tr><td rowspan="5">用成形铣刀或三面刃铣刀加工</td><td>花键轴中段产生波纹</td><td>花键轴太细太长，刚性差，铣至轴的中段时，工件发生振动</td><td>花键轴中段用千斤顶托住</td></tr>
<tr><td>键侧表面粗糙度值高</td><td>刀杆弯曲或刀杆垫圈不平，引起铣刀轴向跳动，切削不平稳</td><td>校直刀杆，修整垫圈</td></tr>
<tr><td>花键的两端内径不一致</td><td>工件上母线与工作台不平行</td><td>重新校正工件上母线相对于工作台面的平行度</td></tr>
<tr><td>花键对称性超差</td><td>对刀不准</td><td>重新对刀</td></tr>
<tr><td>花键两端对称性不一致</td><td>工件侧母线与纵向工作台移动方向不平行</td><td>重新校正工件侧母线相对于纵向工作台移动方向的平行度</td></tr>
</table>

八、铣削链轮

1. 铣削滚子链链轮

精度要求较高或生产数量较多的标准链轮，一般用链轮滚刀在滚齿机上滚切加工。对于数量不多的链轮，常用专用的链轮铣刀加工，铣削同一个节距和滚子直径的链轮铣刀。根据工件齿数不同分为5个刀号数（表3-43），其铣削方法和铣直齿圆柱齿轮基本相同。

表3-43　滚子链链轮铣刀号数表

铣刀号数	1	2	3	4	5
铣齿范围	7~8	9~11	12~17	18~35	35以上

滚子链链轮铣削时，一般应保证下列几点工艺要求：

① 齿根圆直径尺寸准确。

② 链轮端面跳动量和齿根圆径向跳动量在允许范围内。

③ 分度圆节距准确。

④ 齿形准确。

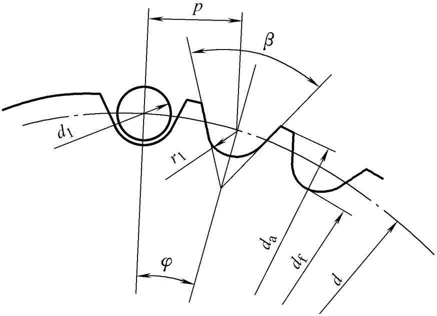
⑤ 齿沟圆弧半径应符合图样要求。

⑥ 表面粗糙度一般应达到R_a3.2μm。

在传动要求不高，单件生产、修配或无标准链轮刀具时，齿数大于20齿，常采用直线端面齿形。在铣床上加工经常遇到的就是这种滚子链链轮。

（1）直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式（表3-44）。

表 3-44　直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式　（单位：mm）



名　称	代　号	计算公式
节距	p	链条节距
滚子直径	d_1	设计参数
链轮齿数	Z	设计参数
分度圆直径	d	$d=\dfrac{p}{\sin\dfrac{180°}{Z}}$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+0.8d_1$
齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2r_1$
齿槽半径	r_1	$r_1=0.505d_1$
链轮转角	φ	$\varphi=\dfrac{360°}{Z}$

（2）直线端面齿形滚子链链轮铣削方法

1）工件装夹与校正。当链轮直径和滚子直径较小时，可用分度头装夹。当链轮直径和滚子直径较大时，则采用回转工作台装夹工件。装夹时应校正链轮外径和端面的跳动量在允许范围内。

2）铣链轮齿沟圆弧：

① 在立式铣床上用立铣刀，铣链轮齿沟圆弧（图3-26）。

② 在卧式铣床上用凸半圆铣刀，铣链轮齿沟圆弧（图3-27）。

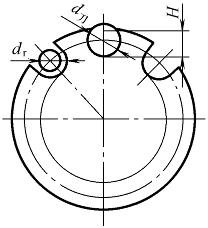


图3-26 用立铣刀铣链轮齿沟圆弧

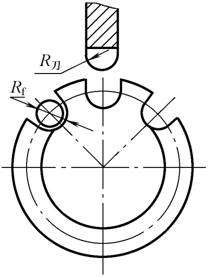


图3-27 用凸半圆铣刀铣链轮齿沟圆弧

铣刀直径和铣削深度：

$$d_刀 = 1.005d_1 - 0.10$$

$$H = \frac{d_a - d_f}{2}$$

式中 $d_刀$——立铣刀直径或 R 盘铣刀宽度（mm）；

H——铣削深度（mm）；

d_1——滚子直径（mm）；

d_a——齿顶圆直径（mm）；

d_f——齿根圆直径（mm）。

3）铣链轮齿槽两侧：

① 在卧式铣床上用三面刃铣刀铣齿槽两侧。

a）选择安装铣刀，使三面刃铣刀宽度 B 小于滚子直径 d_1。

b）把已铣好齿沟圆弧的工件的一条槽校准于居中位置，并把三面刃铣刀的一侧对准工件中心（图 3-28）。然后按齿槽角 β 的要求把工件偏转一个 φ 角（$\beta/2$），工作台横向移动 S 距离，工作台上升距离 H 随齿数不同而变化，一般目测铣至与齿沟圆弧相切。S 按下式计算：

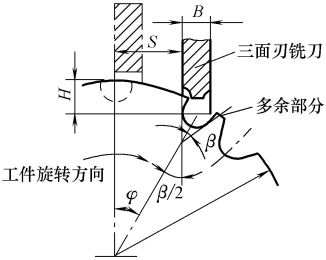


图 3-28　用三面刃铣刀铣链轮齿侧示意图

当 $\beta=58°$ 时，$S=0.242d-0.5d_1$

当 $\beta=60°$ 时，$S=0.25d-0.5d_1$

当 $\beta=62°$ 时，$S=0.258d-0.5d_1$

式中　d——链轮分度圆直径（mm）；

d_1——滚子直径（mm）。

c）铣齿槽另一侧时，工作台高度不变，分度头反

向回转 2 $\varphi(\beta)$ 角，横向工作台反向移动 $2S+B$ 距离即可。

② 用立铣刀铣齿槽两侧。用铣齿沟圆弧的立铣刀，在铣完齿沟圆弧后，把齿坯转过 $\beta/2$ 角，并将工作台偏移一个距离 S（图 3-29），将链轮的一侧余量铣去。

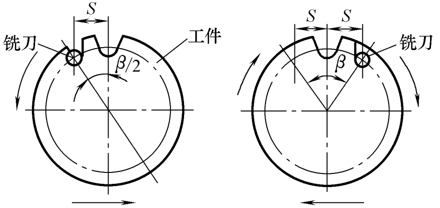


图 3-29 用立铣刀铣链轮齿侧示意图

偏移量 S 按下式计算：

$$S=\frac{d}{2}\sin\frac{\beta}{2}$$

式中 d——链轮分度圆直径（mm）；

β——链轮齿槽角（°）。

铣齿槽另一侧时，使齿坯反向旋转 β 角，工作台反向移动 $2S$ 距离即可。

4）用立铣刀分两次进刀，将链轮沟槽圆弧和齿槽两侧同时铣出的方法。

① 使立铣刀中心对准轮坯中心，然后工作台横向移动一个距离 S，纵向移动一个距离 H。此坐标即是链轮齿沟底部圆弧。此时，必须记住纵向刻度盘刻度并做好记号。然后纵向移动工作台，使轮坯退离铣刀。这时齿

槽的一个侧面与工作台纵向进给方向平行（图 3-30a）。

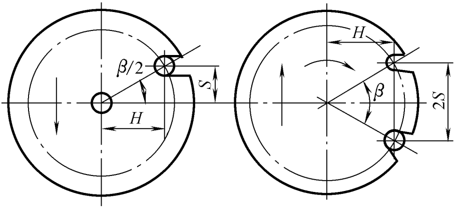


图 3-30　用立铣刀分两次进刀铣削链轮齿槽示意图

a）铣齿槽的一侧面　b）铣齿槽的另一侧面

② 横向移动距离 S 和纵向移动距离 H 按下式计算：

$$S=\frac{d}{2}\sin\frac{\beta}{2}$$

$$H=\frac{d}{2}\cos\frac{\beta}{2}$$

式中　d——链轮分度圆直径（mm）；

β——链轮齿槽角（°）。

③ 升高工作台后做纵向进给，铣至链轮槽底，然后分度依次铣完同一侧面。

④ 铣另一侧齿槽侧面时，工件转过 β 角，工作台横向移动 $2S$ 距离，使另一侧面与纵向进给方向平行，然后依次铣完另一侧（图 3-30b）。

（3）滚子链链轮的测量

为使链条能在链轮上实现盘啮，链轮齿根圆直径的

极限偏差均规定为负值。它可以用标准量具直接测量（表 3-45）或用量柱间接测量（表 3-46）。

表 3-45　直接测量最大齿根距离 L_x

（单位：mm）

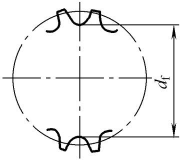
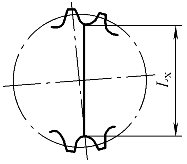
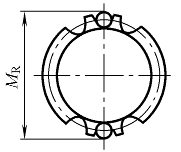
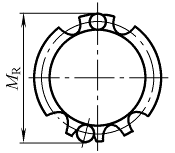
链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图		
计算公式	$L_x = d_f = d - d_1$	$L_x = d\cos\dfrac{90^\circ}{z} - d_1$

表 3-46　用量柱测量最大齿根距离 M_R

（单位：mm）

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图		
计算公式	$M_R = d + d_R$	$M_R = d\cos\dfrac{90^\circ}{z} + d_R$

注：量柱直径 $d_R = d_1$。量柱技术要求为：极限偏差为 $^{+0.01}_{\ \ 0}$mm；圆度、圆柱度等公差不超过直径公差之半；表面粗糙度为 $R_a1.6\mu m$；表面硬度为 55～60HRC。

（4）链轮工作图标注要求

链轮零件工作图上应列表注明基本参数和齿形等（表3-47）。

表 3-47　链轮工作图标注示例

（单位：mm）

节距	p	15.875
滚子外径	d_1	10.16
齿数	z	25
量柱测量距	M_R	$136.57_{-0.25}^{0}$
量柱直径	d_R	$10.16_{0}^{+0.01}$
齿形	按 GB/T 1243—2006	

2. 铣削齿形链链轮

齿形链链轮铣削时，一般应保证下列几点工艺要求：

1）节距误差在允许范围内（节距误差是指轮齿上部的任意圆上，同侧齿面间弦线距离的差）。

2）齿圈跳动在允许范围内。

3）齿楔角偏差为 －30′。

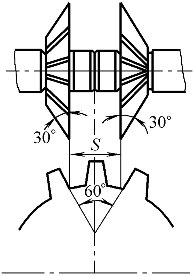


图 3-31　用组合单角度铣刀铣削齿形链链轮

齿形链链轮在没有专用链轮滚刀和专用成形铣刀时可采用下面的方法加工。

（1）用单角度铣刀铣削

用两把单角度铣刀组合铣削齿形链链轮（图 3-31）。两把单角度铣刀间的垫圈厚度 S 为

$$S = 1.273p - 1.155$$

式中　p——链轮节距（mm）。

这种方法铣削加工后，齿槽底部留有较多的剩余部分要用锉刀进行修锉（或铣去）。

（2）用三面刃铣刀铣削

用三面刃铣刀（所选用的三面刃铣刀宽度应小于链轮槽底宽度）铣削齿形链链轮（图 3-32）。铣削时铣刀先对正中心，然后工作台偏移一个距离 S，同时工作台上升一个 H 距离即可对链轮一侧进行铣削。

工作台偏移量 S 和升高量 H 按下式计算：

$$S = \frac{d_f}{2}\sin\beta + \frac{B}{2}$$

$$H = \frac{d_a}{2} - \frac{d_f}{2}\cos\beta$$

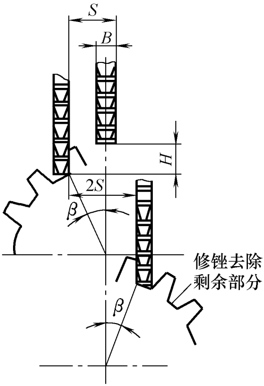


图 3-32　用三面刃铣刀铣削齿形链链轮

式中　d_f——链轮齿根圆直径（mm）；

β——链轮齿槽角（°）；

d_a——链轮顶圆直径（mm）；

B——三面刃铣刀宽度（mm）。

铣另一侧时，工作台高度不变，只需将工件回转 2β 角，工作台反向移动 $2S$ 距离即可。

用三面刃铣刀铣削后，槽底也有少量的剩余部分必须用锉刀进行修锉（或铣去）。

（3）齿形链链轮的测量

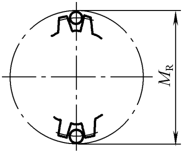
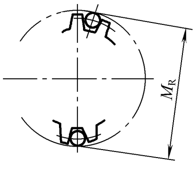
① 齿形链链轮用量柱测量时 M_R 的计算（表 3-48）。

② 量柱直径 d_R 和技术要求（表 3-49）。

③ 节距 $p=1$mm 时的齿形链链轮量柱测量距 M_R（表 3-50）。

表 3-48　齿形链链轮用量柱测量时 M_R 的计算

（单位：mm）

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图		
计算公式	$M_R=d-0.125p\csc\left(30°-\frac{180°}{z}\right)+d_R$	$M_R=\cos\frac{90°}{z}\left[d-0.125p\csc\left(30°-\frac{180°}{z}\right)\right]+d_R$

注：d—分度圆直径；p—节距；z—齿数；d_R—量柱直径。

表 3-49　量柱直径 d_R 和技术要求

（单位：mm）

$d_R=0.625p$							
节距 p	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4	31.75	38.1
量柱直径 d_R	5.953	7.938	9.922	11.906	15.875	19.844	23.813

注：量柱的技术要求为：直径的极限偏差为 $^{+0.01}_{0}$ mm；表面粗糙度为 $R_a0.8\mu m$；表面硬度为 55～60HRC。

表 3-50　节距 $p=1$mm 时的齿形链链轮量柱测量距 M_R　（单位：mm）

齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R
15	5.006	30	9.884
16	5.362	31	10.192
17	5.669	32	10.524
18	6.018	33	10.833
19	6.325	34	11.164
20	6.669	35	11.473
21	6.975	36	11.803
22	7.315	37	12.112
23	7.621	38	12.442
24	7.960	39	12.751
25	8.266	40	13.080
26	8.602	41	13.390
27	8.909	42	13.718
28	9.244	43	14.029
29	9.551	44	14.356

（续）

齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R
45	14.667	65	21.044
46	14.994	66	21.369
47	15.305	67	21.681
48	15.632	68	22.006
49	15.943	69	22.319
50	16.270	70	22.643
51	16.581	71	22.956
52	16.907	72	23.280
53	17.219	73	23.593
54	17.545	74	23.917
55	17.857	75	24.230
56	18.182	76	24.554
57	18.494	77	24.867
58	18.820	78	25.191
59	19.132	79	25.504
60	19.457	80	25.828
61	19.769	81	26.142
62	20.094	82	26.465
63	20.407	83	26.779
64	20.731	84	27.102

（续）

齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R
85	27.416	95	30.601
86	27.739	96	30.923
87	28.053	97	31.237
88	28.376	98	31.560
89	28.690	99	31.874
90	29.012	100	32.197
91	29.327	101	32.511
92	29.649	102	32.834
93	29.964	103	33.148
94	30.286	104	33.470

注：其他节距时的测量距可按表中数值乘其节距 p 得到。

第四章　齿 轮 加 工

一、齿坯加工精度

齿坯精度直接影响齿轮齿部的加工精度，齿坯精加工后，其基面的尺寸和形位公差可按表 4-1、表 4-2 的数值选取。

表 4-1　齿坯公差

<table>
<tr><th colspan="2">齿轮精度等级①</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th></tr>
<tr><td rowspan="2">孔</td><td>尺寸公差</td><td>IT4</td><td>IT4</td><td>IT4</td><td rowspan="2">IT4</td><td rowspan="2">IT5</td><td rowspan="2">IT6</td><td rowspan="2" colspan="2">IT7</td><td rowspan="2" colspan="2">IT8</td><td rowspan="2" colspan="2">IT8</td></tr>
<tr><td>形状公差</td><td>IT1</td><td>IT2</td><td>IT3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">轴</td><td>尺寸公差</td><td>IT4</td><td>IT4</td><td>IT4</td><td rowspan="2">IT4</td><td rowspan="2" colspan="2">IT5</td><td rowspan="2" colspan="2">IT6</td><td rowspan="2" colspan="2">IT7</td><td rowspan="2" colspan="2">IT8</td></tr>
<tr><td>形状公差</td><td>IT1</td><td>IT2</td><td>IT3</td></tr>
<tr><td colspan="2">顶圆直径②</td><td colspan="2">IT6</td><td colspan="3">IT7</td><td colspan="3">IT8</td><td colspan="2">IT9</td><td colspan="2">IT11</td></tr>
<tr><td colspan="2">基准面的径向跳动③</td><td colspan="12" rowspan="2">见表 4-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">基准面的端面跳动</td></tr>
</table>

① 当三个公差组的精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。

② 当顶圆不作测量齿厚的基准时，尺寸公差按 IT11 给定，但不得大于 0.1mm。

③ 当以顶圆作基准面时，本栏就指顶圆的径向跳动。

表 4-2　齿坯基准面径向和端面圆跳动公差

（单位：μm）

分度圆直径/mm		精　度　等　级				
>	到	1 和 2	3 和 4	5 和 6	7 和 8	9 到 12
—	125	2.8	7	11	18	28
125	400	3.6	9	14	22	36
400	800	5.0	12	20	32	50
800	1600	7.0	18	28	45	71
1600	2500	10.0	25	40	63	100
2500	4000	16.0	40	63	100	160

二、成形法铣削齿轮

1. 铣直齿圆柱齿轮

采用成形法铣直齿圆柱齿轮，一般用盘形齿轮铣刀（图 4-1）。盘形齿轮铣刀分两个系列（JB/T 7970.1—1999），1 系列模数范围为 0.3～16mm，2 系列模数范围为 0.35～14mm。

（1）铣刀号数的选择

齿轮铣刀将同一模数的齿轮按齿数划分为一组 8 把或一组 15 把两种。通常模数 $m=1\sim8$ 时为一组 8 把，模数 $m=9\sim16$ 时为一组 15 把。

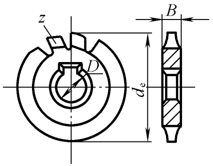


图 4-1　盘形齿轮铣刀

1）一组 8 把模数铣刀和

径节铣刀所铣的齿轮齿数见表 4-3。

表 4-3　一组 8 把模数铣刀和径节铣刀所铣的齿轮齿数

所铣齿轮齿数		12～13	14～16	17～20	21～25	26～34	35～54	55～134	135～齿条
铣刀号数	模数铣刀	1	2	3	4	5	6	7	8
	径节铣刀	8	7	6	5	4	3	2	1

2）一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数见表 4-4。

表 4-4　一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数

铣刀号数	所铣齿数	铣刀号数	所铣齿数
1	12	5	26～29
$1\frac{1}{2}$	13	$5\frac{1}{2}$	30～34
2	14	6	35～41
$2\frac{1}{2}$	15～16	$6\frac{1}{2}$	42～54
3	17～18	7	55～79
$3\frac{1}{2}$	19～20	$7\frac{1}{2}$	80～134
4	21～22	8	135～齿条
$4\frac{1}{2}$	23～25		

（2）铣削过程

以 $m=3$、$z=24$ 的直齿圆柱齿轮为例，其铣削过程如下：

1）铣刀的选定。已知 $m=3$，$z=24$，根据表 4-3 可知，对应的所铣齿轮齿数为 21～25，应选用 4 号铣刀。

2）分度头计算。按单式分度法计算公式（或查表3-22 单式分度法计算及分度表）。

$$h=\frac{40}{z}=\frac{40}{24}=1\ \frac{16}{24}$$

即铣完一齿后，分度头手柄摇 1 转，再在 24 的孔圈上转过 16 个孔距。

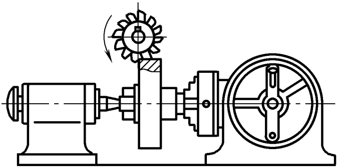


图 4-2　铣直齿圆柱齿轮轴

3）工件装夹与校正。若加工的是直齿圆柱齿轮轴，一般用分度头夹一端，尾座顶尖顶一端（图 4-2）。若加工的是直齿圆柱齿轮，则应配制相应的心轴，将工件锁紧在心轴上，也是用分度头夹心轴一端，尾座顶尖顶一端，但应保证加工时进、退刀的余量。

装夹后应对工件进行校正：

①　校正工件的外圆与端面的跳动。

②　校正分度头与尾座顶尖间的等高（即工件的等高）。

③　校正工件对铣床升降导轨的平行。

4）对刀及切削深度的控制。加工齿轮用刀具对正工件中心一般采用切痕法（图 4-3），即将工作台上升，使齿坯接近铣刀，然后凭目测使铣刀廓形对称线大致对

准齿坯中心，再开动机床使铣刀旋转并逐渐升高工作台，使铣刀的圆周刀刃和齿坯微微接触，同时来回移动横向工作台，这时齿坯上出现了一个椭圆形刀痕，接着调整铣刀廓形对称线对准椭圆中心即可。

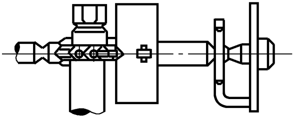


图 4-3　用切痕法对中

刀具对准后，应锁紧横向工作台。铣削深度应按 2.25mm 计算，即 2.25 ×3mm = 6.75mm。为保证齿面的表面粗糙度，一般齿轮加工均分粗铣、精铣两次进行，一般粗铣后要留余量 1.5 ~2mm 再精铣。所以该例中铣第一刀应切深 4.75 ~5mm 为好，在加工第二刀时，应对好齿轮所要求的尺寸后，再铣削完成。

2. 铣削直齿条、斜齿条

齿条分直齿条和斜齿条两种，斜齿条按齿的偏斜方向又分右斜（旋）和左斜（旋）两种。

（1）铣削直齿条的方法（表 4-5）

（2）铣削斜齿条的方法（表 4-6）

3. 铣斜齿圆柱齿轮

（1）选择铣刀号数用当量齿数的计算

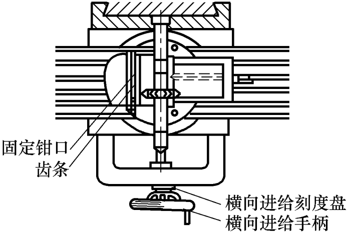
$$z' = \frac{z}{\cos^3\beta}$$

式中　z'——斜齿轮当量齿数；

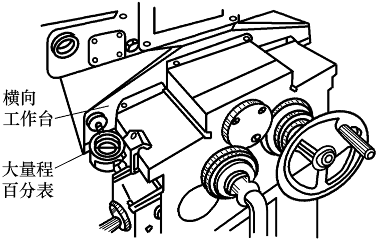
z——斜齿轮齿数；

β——斜齿轮螺旋角。

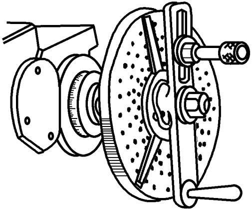
表 4-5　铣削直齿条的方法

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		1）横向移距方法 即用铣床横向刻度盘控制齿距。其刻度盘转动格数计算如下： $$n=\pi m/F$$ 式中　m——齿条模数； F——刻度盘每格的移值量

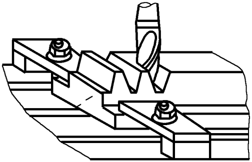
（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		2）用大量程指示表移距方法 将指示表夹固在工作台横向导轨上，使指示表侧头和横向工作台相接触，然后可按计算出的齿距进行分齿，这种方法分距准确、简便、实用

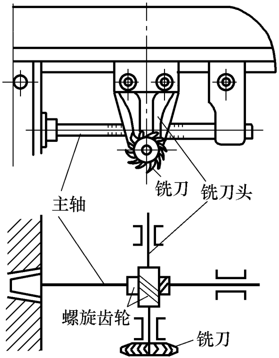
（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		3）分度盘移距方法 此方法是将分度板套在铣床工作台传动丝杠上，并将分度板固定，再把分度手柄装在传动丝杠端部，移距时只要转动分度手柄即可。其计算公式如下： $n=\dfrac{\pi m}{P}$ 式中　n——分度手柄应转过的转数； m——齿条模数（mm）； P——铣床工作台传动丝杠螺距（mm）

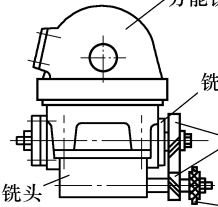
（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		1）在立铣上用指状铣刀加工长齿条 工件装夹时，应保证齿条侧面与铣床工作台纵向进给方向的平行度及齿顶面与工作台面的平行度

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		2）横向刀架方法，即用一个横向托架通过一对螺旋齿轮使刀轴转过90°，使铣刀的旋转方向和齿条的齿槽一致

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		3）用万能铣头改装横切专用铣刀装置的方法

（续）

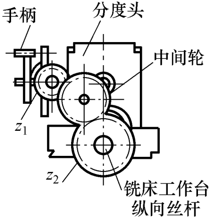
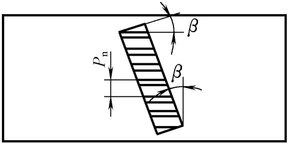
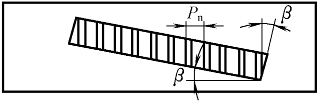
形式	图　示	采用方法的说明
长齿条		4）分度头侧轴挂轮方法 当铣床工作台纵向丝杠螺距$P_{\text{丝}}=6$mm,被加工齿条模数为m,小齿轮$z_1=22$,大齿轮$z_2=42$,手柄的回转数为n时,则有： $\pi m=n\frac{z_1}{z_2}P_{\text{丝}}$ $=n\times\frac{22}{42}\times 6=n\times\frac{22}{7}$ 取$\pi\approx\frac{22}{7}$,则$m=n$ 所以分度头手柄的回转数等于被加工齿条的模数。因此在分齿时,只要按被加工齿条的模数m转动分度头手柄即可 若铣床工作台纵向丝杠$P_{\text{丝}}=4$mm,则需把大齿轮齿数改为$z_2=28$

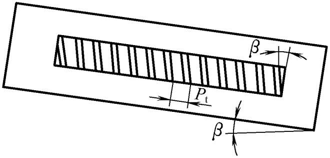
表 4-6　铣削斜齿条的方法

形式	图　　示	采用方法的说明
短齿条		1）工件偏斜横向移距方法 校正时，把工件的侧面调整到与横向进给方向成 β 角（右旋齿条应逆时针转过 β 角，左旋齿条应顺时针转过 β 角）。移距尺寸为斜齿条的法向齿距 $P_n = \pi m_n$（mm）

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		2）工件偏斜纵向移距方法 当斜齿条 β 角较小，长度又不太长时，可将工件偏斜装夹。校正时，可把工件的侧面调整到与纵向进给方向成一 β 角。用纵向移距方法进行加工，移距尺寸仍为斜齿条法向齿距 $P_n = \pi m_n$（mm）

（续）

形式	图　　示	采用方法的说明
长齿条		3）工作台板转角度纵向移距方法 装夹时，先校正工件侧面与纵向进给方向平行，再按图样要求将工作台扳转一个 β 角。由于这种方法的移距方向与齿条的端面齿距方向一致，所以移距尺寸为斜齿条的端面齿距，即 $P_t=\dfrac{\pi m_n}{\cos\beta}$（mm）

（2）铣斜齿圆柱齿轮交换齿轮的计算

传动比 $i=\frac{40P_{丝}}{P_h}=\frac{40P_{丝}}{d'\pi\cot\beta}=\frac{40P_{丝}}{m_t z\pi\cot\beta}=\frac{40P_{丝}\sin\beta}{\pi m_n z}=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}$

式中　40——分度头定数；

$P_{丝}$——工作台丝杠螺距（mm）；

P_h——工作导程（mm）；

d'——齿轮节圆直径（mm）；

β——齿轮螺旋角（°）；

m_t——端面模数；

m_n——法向模数；

z——齿数。

（3）工作台扳转角度[㊀]

用盘形铣刀在万能铣床上铣削螺旋槽时，为了使螺旋槽方向和刀具旋转平面相一致，必须将万能铣床纵向工作台在水平面内旋转一个角度。工作台旋转角度的大小和方向与工件的螺旋角有关，即铣右旋斜齿圆柱齿轮时，工作台逆时针转动一个螺旋角 β；铣左旋斜齿圆柱齿轮时，工作台顺时针转动一个螺旋角 β。

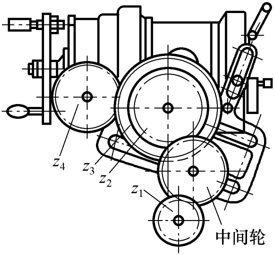
（4）工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置（表 4-7）

（5）铣削时应注意的几点

1）铣削斜齿圆柱齿轮时，分度头手柄定位销要插

㊀　工作台扳转角度形式参见表 3-33。

表 4-7　工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置



被加工齿轮螺旋方向	工作台转动方向和工件的旋转方向①	交换齿轮及中间轮	
		两对交换齿轮	三对交换齿轮
右　旋	逆时针转动	不加中间轮	加一个中间轮
左　旋	顺时针转动	加一个中间轮	不加中间轮

①　对着分度头主轴方向看。

入孔盘中，使工件随着纵向工作台的进给而连续转动，这时应松开分度头主轴紧固手柄和孔盘紧固螺钉。

2）当铣完一个齿槽后，停车将工作台下降一点后才能退刀，否则铣刀会擦伤已加工好的表面。铣下一个齿槽时再将工作台升到原来位置。切记退刀要用手动。

3）当铣完一个齿槽后，将分度头手柄定位销从分度盘孔中拔出进行分度，然后再将定位销插好，加工下一个齿槽。切记当分度头手柄定位销从分度盘孔中拔出

后，就切断了工件旋转和工作台进给运动的联系，这时绝对禁止移动工作台。

4. 铣直齿锥齿轮

盘形锥齿轮铣刀（刀上印有⌓标记）的模数范围为 0.3 ~ 16mm。与直齿圆柱齿轮铣刀一样，每种模数有一套铣刀，每套 8 把，其铣刀刀号及加工范围与圆柱齿轮盘形齿轮铣刀相同，但选刀时必须用当量齿数。

（1）选择铣刀号数用当量齿数的计算公式

$$z' = \frac{z}{\cos\delta}$$

式中 z'——当量齿数；

z——直齿锥齿轮齿数；

δ——直齿锥齿轮节锥角。

（2）铣削方法

1）分度头扳起角度计算。分度头扳起角度等于根锥母线与锥齿轮轴线的夹角 δ_f（根圆锥角），即切削角（图 4-4）。

分度头扳起角度的计算：

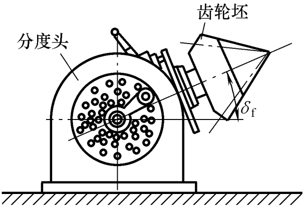


图 4-4　分度头扳角度示意图

$$\delta_f = \delta - \theta_f$$

式中 δ——节锥角（°）；

θ_f——齿根角（°）。

2）横向偏移量 S 的计算：

$$S = \frac{mb}{2R}$$

式中 m——模数（mm）；

b——齿面宽（mm）；

R——节锥距（mm）。

3）铣削过程（图 4-5）。将铣刀对准工件中心，按大端模数，铣至全齿深 $h = 2.2m$，铣出全部直齿槽，并测出大端齿厚，然后铣大端两侧余量。图 4-5 所示为铣大端左侧余量。先按图 4-5a 箭头方向将工作台移动一个距离 S（横向移位量），再按图 4-5b 箭头方向转动分度头（工作台移动方向与分度头转动方向相反），使铣刀左侧刃刚刚蹭着小端齿槽左侧铣一刀（图 4-5c），并立

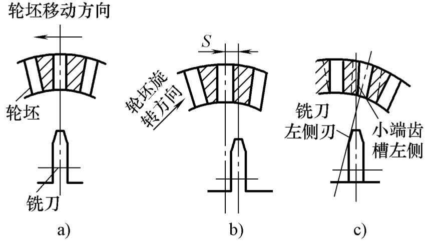


图 4-5　铣削过程

即用齿轮游标卡尺测量大端的齿厚，这时的尺寸 $=\frac{1}{2}\times$（开出直槽后的大端齿厚－图样要求的齿厚）＋图样要求齿厚。如果还有余量就应把分度头再转一两个孔。铣大端右侧时，按上面移动的 S 值和分度头转数值反方向加倍摇好。

这样加工出的齿轮，小端齿顶、齿根稍厚一些，若啮合要求较高，应对齿顶进行修锉。

三、飞刀展成铣蜗轮

蜗轮蜗杆啮合时，沿中心平面的切面内相当于齿轮齿条的啮合。蜗杆转动一圈，相当于齿条沿轴向移动一个齿距（单头蜗杆）或几个齿距（多头蜗杆），蜗轮相应地转过一个齿或几个齿。蜗杆继续转动，蜗轮也继续转过相应的齿数，即蜗轮做旋转运动时，蜗杆相似地做齿条的推进运动。而飞刀就相当于蜗杆上齿的一部分，利用飞刀的旋转运动就能进行切削。根据这一原理，就可利用飞刀展成铣蜗轮。

1. 铣削方法

如图 4-6 所示，首先将立铣头扳一个角度，使刀杆轴线与水平面的夹角等于蜗轮的螺旋角，即等于蜗杆的螺旋升角。为了得到连续的展成运动，必须将纵向工作台丝杠与分度头配轮轴之间用交换齿轮连接起来，在纵向工作台对应飞刀完成切向进给运动的同时，通过交换齿轮使蜗轮完成相应的转动。

由于飞刀转动与工件转动之间没有固定联系，因而

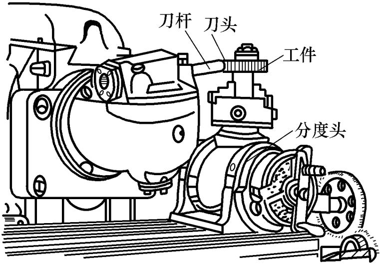


图 4-6　飞刀展成铣削蜗轮

不能连续分齿，要在展成切出一个齿后，将刀头转向上方，工作台退回原位，用手摇动分度头手柄，分过一齿后再铣下一个齿。

用这种方法（连续展成，断续分齿法）加工出的蜗轮，是斜直槽而不是螺旋槽，因而当螺旋角较大时，啮合性能较差。

2. 交换齿轮计算

(1) 展成交换齿轮计算

根据展成原理，工件转过一个齿 $\left(\frac{1}{z}\text{转}\right)$，工作台要相应地在纵向移动一个蜗轮齿距（蜗轮齿距 = πm_x）的距离，从而可以导出交换齿轮计算公式：

$$i=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{40P_{丝}}{z\pi m_x}=\frac{40P_{丝}}{\pi d_2}$$

式中　40——分度头定数；

$P_{丝}$——机床丝杠螺距（mm）；

m_x——端面模数；

d_2——蜗轮节圆直径（mm）。

（2）分齿计算

根据蜗轮的齿数 z_2 算出分度头手柄转数 n，即 $n=\frac{40}{z}$（可查单式分度表）。

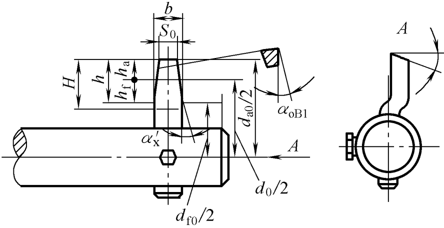
3. 铣头扳角度方向和工件旋转方向及中间轮装置（表 4-8）

表 4-8　铣头扳角度方向和工件旋转方向及中间轮装置

<table>
<tr><td rowspan="2">刀具位置</td><td colspan="2">铣头扳角度方向</td><td>工作台运动方向</td><td>工件旋转方向</td><td>两对交换齿轮</td><td>三对交换齿轮</td></tr>
<tr><td>右旋蜗轮</td><td>左旋蜗轮</td><td colspan="4">右旋蜗轮和左旋蜗轮一致</td></tr>
<tr><td>在工件外边</td><td>顺时针</td><td>逆时针</td><td>←</td><td>逆时针</td><td>不加中间轮</td><td>加一中间轮</td></tr>
<tr><td>在工件里边</td><td>逆时针</td><td>顺时针</td><td>←</td><td>顺时针</td><td>加一中间轮</td><td>不加中间轮</td></tr>
</table>

4. 飞刀部分尺寸的计算公式（表 4-9）

表 4-9　飞刀部分尺寸的计算公式



各部名称	计算公式	备　　注
飞刀节圆直　　径	$d_0=\dfrac{d_1}{\cos\beta}+\alpha m_x$	d_1 是蜗杆节圆直径，β 是螺旋角，当 $\beta=3°\sim20°$ 时，取 $\alpha=0.1\sim0.3$
齿顶高	$h_a=fm_x+cm_x+0.1m_x$	f 是蜗轮齿顶高系数，cm_x 是标准径向间隙，$0.1m_x$ 为刃磨量，m_x 是蜗杆轴向模数
齿根高	$h_f=fm_x+cm_x$	
全齿高	$h=h_a+h_f$	

（续）

各部名称	计算公式	备　　注
飞刀节圆齿　　厚	$S_0 = \frac{\pi m_x}{2}\cos\beta$	
飞刀外径	$d_{a0} = d_0 + 2h_a$	
飞刀根径	$d_{f0} = d_0 - 2h_f$	
飞刀顶刃后　　角	α_{oB}一般取 $10° \sim 12°$	
侧刃法向后　　角	$\tan\alpha_{oB1} = \tan\alpha_{oB}\sin\alpha_n$	α_n①是蜗杆法向齿形角。必须使 $\alpha_{oB1} \geqslant 3°$，若计算结果 $\alpha_{oB1} < 3°$，则应增大顶刃后角
刀齿顶刃圆角半径	$r = 0.2m_x$	
飞刀宽度	$b = S_0 + 2h_f\tan\alpha_n + 2y$	$2y = 0.5 \sim 2\text{mm}$（此值为加宽量）
刀齿深度	$H = \frac{d_{a0} - d_{f0}}{2} + K$	$K = \frac{\pi d_{a0}}{z}\tan\alpha_{0B}$
齿形角	$\alpha_x' = \alpha_n - \frac{\sin^3\beta \times 90°}{z_1（蜗杆头数）}$	当 $\beta \leqslant 20°$ 时，可取 $\alpha_x' = \alpha_n$

① $\tan\alpha_n = \tan\alpha_x\cos\beta$，$\alpha_x$ 是蜗杆轴向齿形角，α_n 是蜗杆法向齿形角。

［**例**］　已知一对蜗轮蜗杆，$m_x=3$，螺旋角 $\beta=12°30'$，蜗轮 $z_2=30$，节圆直径 $d_2=90mm$，蜗杆节圆直径 $d_1=54mm$，右旋，机床丝杠螺距 $P_{丝}=6mm$。求展成传动比，飞刀各部分尺寸及分度头手柄转数。

［**解**］　$i=\frac{40P_{丝}}{\pi d_2}=\frac{40\times6}{3.1416\times90}\approx0.84883$

$$i=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}\approx\frac{80\times35}{55\times60}$$

飞刀头各部分尺寸计算：

（1）飞刀节圆直径

$\beta=12°30'$（在 3°～20°范围内），可取 $\alpha=0.2$。

$$d_0=\frac{d_1}{\cos\beta}+\alpha m_x=\left(\frac{54}{\cos12°30'}+0.2\times3\right)mm=\left(\frac{54}{0.9763}+0.6\right)mm=(55.31+0.6)\ mm=55.91mm$$

（2）齿顶高

$$h_a=fm_x+cm_x+0.1m_x=(1\times3+0.2\times3+0.1\times3)\ mm=(3+0.6+0.3)\ mm=3.9mm$$

（3）齿根高

$$h_f=fm_x+cm_x=(1\times3+0.2\times3)\ mm=(3+0.6)\ mm=3.6mm$$

（4）全齿高

$$h=h_a+h_f=(3.9+3.6)\ mm=7.5mm$$

（5）飞刀节圆齿厚

$$S_0=\frac{\pi m_x}{2}\cos\beta=\frac{3.14\times3}{2}\cos12°30'\text{mm}=$$

$$4.71\times0.9763\text{mm}=4.598\text{mm}$$

（6）飞刀回转外径

$$d_{a0}=d_0+2h_a=(55.91+2\times3.9)\ \text{mm}=63.71\text{mm}$$

（7）飞刀根径

$$d_{f0}=d_0-2h_f=(55.91-2\times3.6)\ \text{mm}=48.71\text{mm}$$

（8）飞刀顶刃后角

取　$\alpha_{0B}=10°$

（9）侧刃法向后角

取　$\alpha_{0B1}=5°$

（10）刀齿顶刃圆角半径 r

$$r=0.2m_x=0.2\times3\text{mm}=0.6\text{mm}$$

（11）飞刀宽度

$$b=S_0+2h_f\tan\alpha_n+2y$$

其中　$\tan\alpha_n=\tan\alpha_x\cos\beta=\tan20°\times\cos12°30'$

$=0.35534$

取　$2y=1$

所以　$b=(4.598+2\times3.6+0.35534+1)\ \text{mm}=$

$(4.598+7.2\times0.35534+1)\ \text{mm}=$

$(4.598+2.56+1)\ \text{mm}=$

8.158mm

（12）刀齿深度

$$H=\frac{d_{a0}-d_{f0}}{2}+K$$

因为 $$K=\frac{\pi d_{a0}}{z}\tan\alpha_{0B}$$

所以 $$H=\left(\frac{63.71-48.71}{2}+\frac{3.14\times63.71}{30}\times0.176\right)\text{mm}$$

$$=(7.5+1.174)\text{ mm}$$

$$=8.674\text{mm}$$

（13）齿形角

$$\alpha_x=\alpha_n-\frac{\sin^3\beta\times90°}{z_1}$$

因为 $$\beta=12°30'<20°$$

可取 $$\alpha_x=\alpha_n$$

$$\tan\alpha_n=0.35534$$

所以 $$\alpha_x=\alpha_n=19°34'$$

分齿计算：

$$n=\frac{40}{z_2}=\frac{40}{30}=1\ \frac{8}{24}$$

即展成切削一齿后，手柄回转一圈，再在分度盘 24 的孔圈上，转过 8 个孔距数。

刀具安装在工件里边（如表 4-8 第二种情况），已知蜗轮是右旋，所以飞刀刀杆应逆时针扳起 12°30′，算出的两对展成交换齿轮应加一中间轮，这样蜗轮的转动方向为顺时针。

四、滚齿

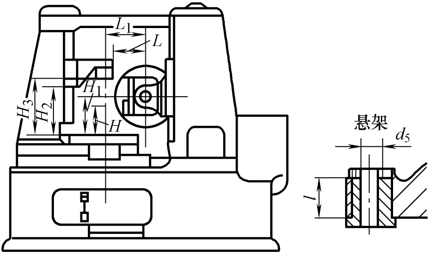
1. 滚齿机传动系统（以 Y38 为例（图 4-7），见书后插页）

2. 常用滚齿机连接尺寸

（1）滚齿机主要相关尺寸（表 4-10）

表 4-10　滚齿机主要相关尺寸

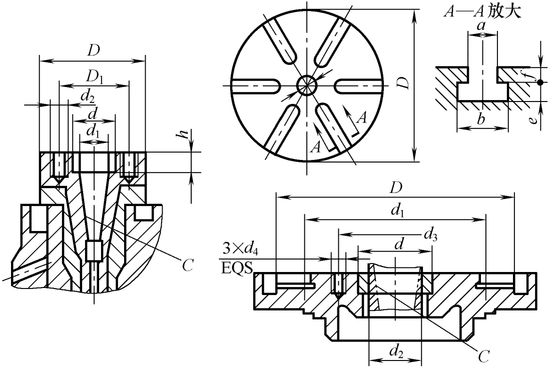
（单位：mm）



机床型号	最大加工范围			滚刀轴中心线至工作台面的距离		滚刀轴中心线至工作台中心线距离		工作台面至悬架下面尺寸		悬架尺寸		可安装最大滚刀直径
	直径	模数	宽度	H	H_1	L	L_1	H_2	H_3	d_5	l	
Y31	125	1.5	80	50	150	15	85	60	210	12	40	55
Y32B	200	4	180	110	300	30	160	150	365	35	65	80
Y3150	500	6	240	170 110	350	25	320	280	500	25	71	120
Y38	800	8	240	205	275	80	470	420	780	25	80	120
Y38-1（Y3180A）	800	8	220	195	465	60	500	495	660	22.7	76	125
Y310	1000	12	300	210	590	90	605	310	650	35	105	200

（2）常见滚齿机工作台尺寸（表 4-11）

表 4-11　常见滚齿机工作台尺寸　　　　（单位：mm）

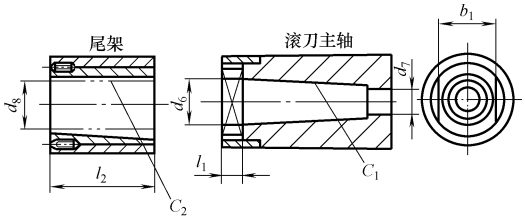


（续）

机床型号	工作台尺寸						工件心轴座孔锥度 C	工作台尺寸									
	D	D_1	d	d_1	d_2	h		D	d	d_1	d_2	d_3	d_4	a	b	e	f
Y31	90	72	50	23.825	M8	15	莫氏3号										
Y32B	150	72	65	31.267	M8	20	莫氏4号										
Y3150							65（直孔）	330	85	156	65	100	M8	14	24	11	15
Y38							莫氏5号	475	100	195	80	145	M12	18	30	14	20
Y38-1							莫氏5号	570	100	272	80	145	M12	18			
Y310							莫氏5号	670	170	282	140	205	M8	22			

（3）常见滚齿机刀架及尾架尺寸(表 4-12)

表 4-12　常见滚齿机刀架及尾架尺寸　　　(单位:mm)



机床型号	刀架最大垂直行程	刀架最大回转角度	主轴孔锥度 C_1	主轴尺寸				尾架尺寸		尾架孔锥度 C_2
				d_6	d_7	l_1	b_1	d_8	l_2	
Y31	100	360°	莫氏 2 号	17.780	12	7	32	13	30	1∶5

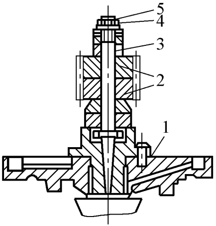
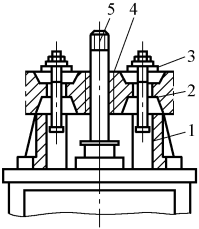
（续）

机床型号	刀架最大垂直行程	刀架最大回转角度	主轴孔锥度 C_1	主轴尺寸				尾架尺寸		尾架孔锥度 C_2
				d_6	d_7	l_1	b_1	d_8	l_2	
Y32B	200	±60°	莫氏 4 号	31. 267	16	15	32	22、27	50	1∶5
Y3150	260	±90°	莫氏 4 号	31. 267	16	—	32	22、27、32	65	1∶5
Y38	270	360°	莫氏 5 号	44. 399	20	16	45	22、27、32	65	1∶5
Y38-1	270	360°	莫氏 4 号	31. 267	16	12	32	22、27、32	60	1∶5
Y310	280	240°	莫氏 5 号	44. 399	20	16	48	27、32、40	95	1∶5

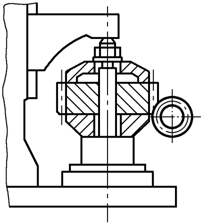
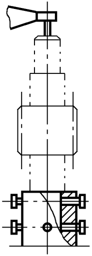
注：表中有两个数据者系不同厂生产的同一型号产品的有关参数。

3. 常用滚齿夹具及齿轮的安装(表 4-13)

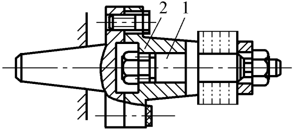
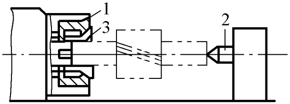
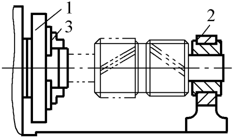
表 4-13　常用滚齿夹具及齿轮的安装

立式滚齿机用夹具及齿轮安装	
小型带孔齿轮	中型带孔齿轮
 1—工作台　2—齿轮　3—垫圈 4—螺母　5—心轴	 1—支架　2—齿轮　3—压板 4—可换套筒　5—心轴

（续）

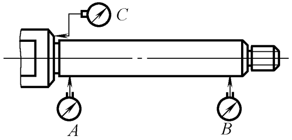
立式滚齿机用夹具及齿轮安装	
带孔齿轮(用后立柱支撑)	轴齿轮
	

（续）

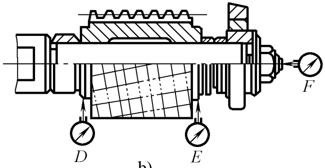
<table>
<tr><th colspan="2">卧式滚齿机用夹具</th></tr>
<tr><td>带孔齿轮</td><td>轴齿轮</td></tr>
<tr><td>
1—心轴　2—法兰盘</td><td>
1—主轴　2—后顶尖　3—卡盘</td></tr>
<tr><td colspan="2">人字齿轮</td></tr>
<tr><td colspan="2">
1—主轴　2—支架　3—卡盘</td></tr>
</table>

4. 滚刀心轴和滚刀的安装要求（表 4-14）

表 4-14　滚刀心轴和滚刀的安装要求



a)



b)

齿轮精度等级	模数/mm	径向和轴向圆跳动允差/mm					
		滚刀心轴			滚刀台肩		轴向圆跳动
		A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
5 ~ 6	≤2. 5 ＞2. 5 ~ 10	0. 003 0. 005	0. 006 0. 008	0. 003 0. 005	0. 005 0. 010	0. 007 0. 012	0. 005

（续）

齿轮精度等级	模数/mm	径向和轴向圆跳动允差/mm					
		滚刀心轴			滚刀台肩		轴向圆跳动
		A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
7	≤1 >1～6 >6	0.005 0.010 0.020	0.008 0.015 0.025	0.005 0.010 0.020	0.010 0.015 0.020	0.012 0.018 0.025	0.010
8	≤1 >1～6 >6	0.01 0.02 0.03	0.015 0.025 0.035	0.01 0.02 0.025	0.015 0.025 0.030	0.020 0.030 0.040	0.015
9	≤1 >1～6 >6	0.015 0.035 0.045	0.020 0.040 0.050	0.015 0.030 0.040	0.020 0.040 0.050	0.030 0.050 0.060	0.020

5. 滚刀精度的选用（表4-15）

表4-15　滚刀精度的选用

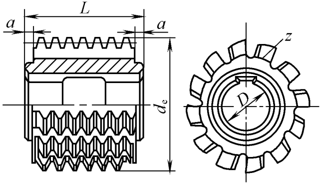
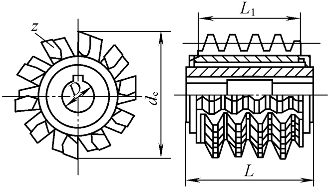
齿轮精度	6～7	7～8	8～9	10～12
滚刀精度	AA	A	B	C

注：滚切6级精度以上的齿轮，需设计制造更高精度的滚刀。

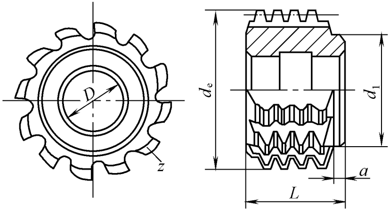
6. 渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围（表4-16）

表 4-16 渐开线齿轮滚刀基本形式和模数范围

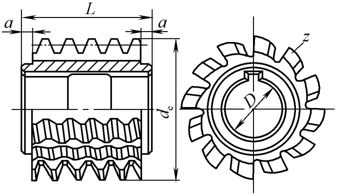
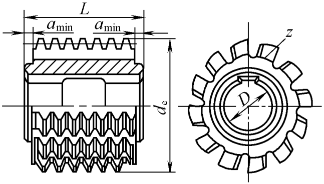
（单位：mm）

名称	模数范围		图示	标准代号
	I	II		
齿轮滚刀	1 ~ 10	1.75 ~ 9		GB/T 6083—2001
镶片齿轮滚刀	10 ~ 40	9 ~ 36		GB/T 9205—2005

（续）

名称	模数范围		图示	标准代号
	Ⅰ	Ⅱ		
小模数齿轮滚刀	0. 1 ~ 0. 8	0. 35 ~ 0. 9		JB/T 2494 —2006

（续）

名称	模数范围		图示	标准代号
	Ⅰ	Ⅱ		
磨前齿轮滚刀	1 ~ 10	1.75 ~ 9		JB/T 7968.1—1999
剃前齿轮滚刀	1 ~8	1.75 ~ 7		JB/T 4103—2006

7. 滚齿加工工艺参数的选择

（1）高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量（表 4-17）

表 4-17　高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量

模数 /mm	粗切		精切	
	v_c/(m/min)	f_a/(mm/r)	v_c/(m/min)	f_a/(mm/r)
≤10	25～30	1.5～3	30～40	1.0～2.0
>10	12～20	1.2～2.5	15～25	1.0～1.5

注：1. 加工铸铁齿轮，f_a 可增加 20%～30%。
2. 加工合金钢齿轮，f_a、v_c 需减少 20% 左右。
3. 用氮化钛涂层滚刀，f_a、v_c 可增加 50% 左右。

（2）走刀次数与滚齿余量的分配（表 4-18）

表 4-18　走刀次数与滚齿余量的分配

模数	走刀次数	余量分配
≤3	1	—
>3～8	2	留精切齿余量 1.5～2mm
>8	3	第 1 次留余量 8～10mm， 第 2 次留余量 1.5～2mm

（3）滚齿留剃余量（表 4-19）

表 4-19 滚齿留剃余量

（单位：mm）

模　　数	工件直径			
	~100	100~200	200~500	500~1000
≤2	0.04~0.08	0.06~0.10	0.08~0.12	0.10~0.14
>2~4	0.06~0.10	0.08~0.12	0.10~0.14	0.12~0.18
>4~6	0.08~0.12	0.10~0.14	0.12~0.17	0.14~0.20
>6~8	0.10~0.14	0.12~0.16	0.14~0.19	0.18~0.22

注：1. 表中所列为双侧剃齿量。
2. 采用本表余量必须用剃前滚刀加工齿轮。

（4）滚齿切削液选用

高速钢滚刀加工碳素合金钢齿轮需用由矿物油和植物油合成的切削液，或用由 L-AN 油、硫化切削油、油酸及氯化蜡等合成的极压切削液，可提高滚刀耐用度，降低齿面粗糙度。

8. 滚齿加工的调整

（1）交换齿轮计算及滚齿机定数

1）分齿、进给、差动交换齿轮计算公式。

①　分齿交换齿轮计算公式：

$$\frac{分齿定数 \times K}{z} = \frac{ac}{bd}$$

式中　K——滚刀头数；

z——齿数。

②　进给交换齿轮计算公式：

$$垂直进给定数 \times f_{立} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

$$水平进给定数 \times f_{平} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

式中　$f_{立}$——垂直进给量（mm）；

$f_{平}$——水平进给量（mm）。

③　差动交换齿轮计算公式

$$\frac{差动定数 \times \sin\beta}{m_n K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

式中　β——工件螺旋角（°）；

m_n——法向模数。

2）Y37、Y38 滚齿机定数见表 4-20。

（2）滚刀安装角度和工作台转动方向及中间轮装置

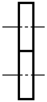
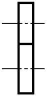
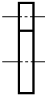
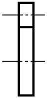
1）在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置（表 4-21）。

2）在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置（表 4-22）。

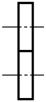
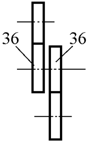
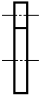
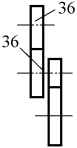
3）在 Y37 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置（表 4-23）。

4）在 Y37 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置（表 4-24）。

表 4-20 Y37、Y38 滚齿机定数

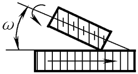
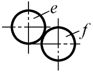
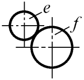
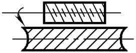
Y37						
分度定数				进给定数		差动定数
$z\leqslant 200$		$z>200$				
直齿圆柱齿轮	斜齿轮	直齿圆柱齿轮	斜齿轮	垂直	水平	
$e=36$  $f=36$ 定数24	$e=36$  $f=36$ 定数48	$e=24$  $f=48$ 定数48	$e=24$  $f=48$ 定数96	$\frac{9}{32}$	$\frac{2}{3}$	5. 96831

（续）

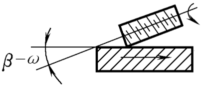
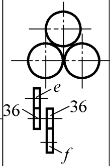
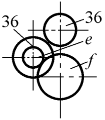
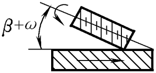
Y38						
分度定数				进给定数		差动定数
$z \leqslant 161$		$z > 161$				
直齿圆柱齿轮	斜齿轮	直齿圆柱齿轮	斜齿轮	垂直	水平	
e=36  f=36 定数24	e=36  f=36 定数24	e=24  f=48 定数48	e=24  f=48 定数48	$\frac{3}{4}$①	$\frac{5}{4}$	7.95775

① 若机床上与进给交换齿轮相连的蜗杆副是2/24时，垂直进给定数应是3/10。

表 4-21　在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置

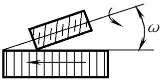
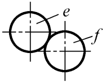
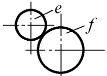
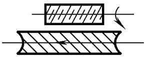
齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leq161$ 时	当 $z>161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—
蜗轮				加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—

（续）

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 z ≤161 时	当 z >161 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
右旋齿轮				加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮
左旋齿轮		$\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	$\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮

注：ω—滚刀螺旋角；β—工件螺旋角。

表 4-22　在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant161$ 时	当 $z>161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—
蜗轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—

（续）

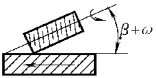
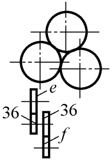
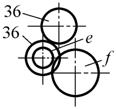
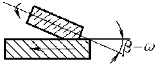
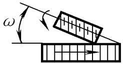
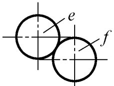
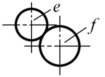
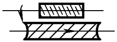
齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant161$ 时	当 $z>161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
右旋齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮
左旋齿轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加一个中间轮	不加中间轮

表 4-23　在 Y37 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant200$ 时	当 $z>200$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—
蜗轮				加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—

（续）

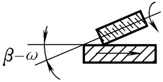
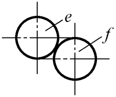
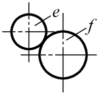
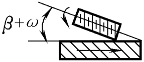
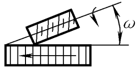
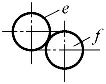
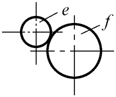
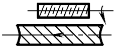
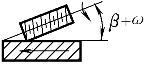
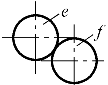
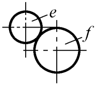
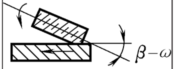
齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant200$ 时	当 $z>200$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
右旋齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮
左旋齿轮				加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮

表 4-24　在 Y37 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度和工作台回转方向及中间轮装置

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant 200$ 时	当 $z>200$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮		 $\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—
蜗轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—

（续）

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b}\times\frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1}\times\frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2}\times\frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z\leqslant 200$ 时	当 $z>200$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
右旋齿轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮
左旋齿轮		$\frac{e}{f}=\frac{36}{36}$	$\frac{e}{f}=\frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加一个中间轮	不加中间轮

9. 滚铣大质数齿轮（以 Y38 为例）

在滚齿机上加工 100 齿以上的质数直齿圆柱齿轮（如 113、197 齿等）时，交换齿轮的计算与加工一般的齿轮不同。可根据下面的公式算出各组交换齿轮。

（1）滚铣大质数直齿圆柱齿轮时各组交换齿轮的计算

1）分齿交换齿轮计算：

$$\frac{24K}{z \pm P}=\frac{ac}{bd}$$

当 $z \leqslant 161$ 时，定数用 24；

当 $z > 161$ 时，定数用 48。

式中 K——滚刀头数；

$\pm P$——加减任意一个分数，但要保证分子分母能互相约简。

2）进给交换齿轮计算：

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{a_1c_1}{b_1d_1}$$

式中 $f_{立}$——垂直进给量。

3）差动交换齿轮计算：

$$\pm\frac{25^{㊀}P}{f_{立}K}=\frac{a_2c_2}{b_2d_2}$$

若分齿交换齿轮公式中用“$z+P$”，则差动交换齿轮公式前取“－”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时不加中间

㊀ 即 $\pi \times$ 差动定数 $=\pi \times 7.95775 \approx 25$。

轮；反之，若分齿交换齿轮公式中用“$z-P$”，则差动交换齿轮公式前取“+”，表示差动补给运动使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

例 在 Y38 型滚齿机上要加工一个 101 齿的直齿圆柱齿轮，如果使用的是单头滚刀，进给量$f_{立}=1\text{mm}$，试求各组交换齿轮。

解 设 $P=\dfrac{1}{20}$，前边取“+”号，$\dfrac{e}{f}=\dfrac{36}{36}=1$，

则 分齿交换齿轮：

$$\frac{24K}{z+p}=\frac{24\times1}{101+\dfrac{1}{20}}=\frac{24\times20}{2021}=\frac{20\times24}{43\times47}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{3}{4}\times1=\frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：因分齿交换齿轮公式中用“$z+P$”，则差动交换齿轮公式前取“-”号，即

$$-\frac{25P}{f_{立}K}=-\frac{25\times\dfrac{1}{20}}{1\times1}=-\frac{25}{20}=-\frac{5\times5}{5\times4}=-\frac{50\times25}{25\times40}$$

表示差动补给运动与工作台转动方向一致，即多转，不加中间轮。

（2）滚铣大质数斜齿圆柱齿轮时各组交换齿轮的计算

1）分齿交换齿轮计算：

$$\frac{24K}{z\pm P}=\frac{ac}{bd}$$

当 $z \leqslant 161$ 时，定数用 24；当 $z > 161$ 时，定数用 48。

2）进给交换齿轮计算：

$$\frac{3}{4}f_{立} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

3）差动交换齿轮计算：

$$\pm \frac{7.95775\sin\beta}{m_n K} \pm \frac{25^{㊀} P}{f_{立} K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

式中符号意义：

当工件与滚刀螺旋方向相同时，第一项前用“－”号；方向相反时，用“＋”号。

当分齿交换齿轮公式中用 $z + P$ 时，第二项前用“－”号；当分齿交换齿轮中用 $z - P$ 时，第二项前用“＋”号。

第一项和第二项若符号相同则相加；若符号相反则相减。其结果得“－”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时，不加中间轮；反之，结果得“＋”号，表示差动补给运动与工作台转动方向相反，使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

例　在 Y38 型滚齿机上，加工一右旋斜齿圆柱齿轮，$m_n = 2$，$\beta = 30°$，$z = 103$，$f_{立} = 1\text{mm}$，用右旋单头滚刀，试求各组交换齿轮。

㊀ 即 π × 差动定数 = π × 7.95775 ≈ 25。如果用其他机床，也可用这个公式计算各组交换齿轮，但需将分齿、进给、差动三个定数改为相应机床的定数。

解 设 $P=\dfrac{1}{25}$，前边取“+”号。

则 分齿交换齿轮：

$$\frac{24K}{z+P}=\frac{24\times 1}{103+\dfrac{1}{25}}=\frac{24\times 25}{2576}$$

$$=\frac{24\times 25}{16\times 7\times 23}=\frac{25\times 60}{70\times 92}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{立}=\frac{3}{4}\times 1=\frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：

由于工件与滚刀螺旋方向相同，差动交换齿轮公式第一项前用“-”号。又因分齿交换齿轮公式中用 $z+P$，所以第二项前也用“-”号。

$$-\frac{7.95775\sin\beta}{m_{\mathrm{n}}K}-\frac{25P}{f_{立}\,K}$$

$$=-\frac{7.95775\times\sin 30^{\circ}}{2\times 1}-\frac{25\times\dfrac{1}{25}}{1\times 1}$$

$$=-\frac{7.95775\times 0.5}{2\times 1}-1$$

$$=-1.98944-1$$

$$=-2.98944$$

$$\approx-\frac{45\times 95}{22\times 65}$$

结果得“-”号，表示用两对齿轮时，不加中间轮。

注意：因为是质数齿轮，在加工中，差动运动（附加转动）是分齿运动不可分割的一部分，即在加工过程中分齿运动和差动运动不能分开，否则分齿就乱了。所以在加工中，如果切削第二刀时，只能先利用反车自动返回，然后再进行切削。

（3）Y38 滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮时，分齿、差动交换齿轮表（表 4-25）

表 4-25　Y38 滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮（滚刀头数 $K=1$）时，分齿、差动交换齿轮

齿数 z	P	分齿交换齿轮	差动交换齿轮	
			$f_{立}=0.75\text{mm}$	$f_{立}=1\text{mm}$
101	1/20	24/43×20/47	55/33	50/40
137	1/20	25/43×25/83	55/33	50/40
241	1/20	23/33×20/70	40/24	50/40
362	1/20	59/89×20/100	55/33	50/40
386	1/20	33/65×24/98	95/57	50/40
389	−1/20	34/58×20/95	40/24	50/40
401	1/20	37/79×23/90	40/24	50/40
428	1/20	43/90×23/98	40/24	50/40
446	1/20	23/57×20/75	40/24	50/40
451	1/20	34/71×20/90	40/24	50/40
461	1/20	34/71×20/92	40/24	50/40
478	1/20	20/48×20/83	40/24	50/40
479	1/20	30/71×23/97	40/24	50/40
481	1/20	37/89×24/100	55/33	50/40
482	−1/15	24/61×20/79	50/20×40/45	55/33
483	1/20	40/83×20/97	55/33	30/24
489	1/15	24/67×20/73	50/20×40/45	55/33

注：表中 P 为“−”值时，则差动交换齿轮需加一个中间轮。

（4）P 的推荐值（表 4-26）

表 4-26　P 的推荐值

Z	P	Z	P
101	$\pm\frac{1}{4}$，$-\frac{1}{17}$，$\frac{1}{20}$，$\frac{1}{24}$，$-\frac{1}{35}$	151	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{20}$，$\frac{1}{34}$
		157	$-\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$
103	$\pm\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$，$\frac{1}{23}$，$\frac{1}{25}$	163	$\pm\frac{1}{5}$，$\frac{1}{30}$，$-\frac{1}{35}$
107	$\pm\frac{1}{15}$，$\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{45}$，$-\frac{1}{48}$	167	$\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$\frac{1}{25}$，$\pm\frac{1}{33}$
109	$\pm\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{15}$，$\frac{1}{25}$	169	$\frac{1}{5}$
113	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{15}$，$\frac{1}{34}$	173	$-\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{25}$
127	$\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{10}$，$\pm\frac{1}{17}$	179	$\pm\frac{1}{15}$，$-\frac{1}{35}$，$\frac{1}{45}$
131	$\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{20}$，$-\frac{1}{34}$	181	$\pm\frac{1}{15}$，$\frac{1}{20}$，$\pm\frac{1}{25}$，$-\frac{1}{30}$
137	$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$，$-\frac{1}{45}$	191	$-\frac{1}{5}$，$\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{20}$
139	$\frac{1}{30}$，$-\frac{1}{35}$，$\frac{1}{40}$	193	$\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{17}$，$-\frac{1}{25}$
143	$-\frac{1}{5}$	197	$\pm\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$
149	$-\frac{1}{5}$，$-\frac{1}{25}$，$-\frac{1}{35}$	199	$\pm\frac{1}{5}$，$\pm\frac{1}{17}$，$\frac{1}{21}$

10. 滚齿加工常见缺陷及解决方法（表4-27）

表4-27　滚齿加工常见缺陷及解决方法

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿数不正确	1）跨轮或分齿交换齿轮调整不正确 2）滚刀选用错误 3）工件毛坯尺寸不正确 4）滚切斜齿轮时，附加运动方向不对	1）重新调整跨轮、分齿交换齿轮，并检查中间轮装置是否正确 2）合理选用滚刀 3）更换工件毛坯 4）增加或减少差动交换齿轮中的中间轮
齿形不正常 (1) 齿面出棱 	滚刀齿形误差太大或分齿运动瞬时速比变化大，工件缺陷状况有4种： 1）滚刀刃磨后，刀齿等分性差	主要方法：着眼于滚刀刃磨质量，滚刀安装精度以及机床主轴的几何精度： 1）控制滚刀刃磨质量

（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿形不正常 (1) 齿面出棱 	2）滚刀轴向窜动大	2）保证滚刀的安装精度。同时，安装滚刀时不能敲击；垫圈端面平整；螺母端面要垂直；锥孔内部应清洁；后托架装上后，不能留间隙
	3）滚刀径向跳动大	3）复查机床主轴的旋转精度，并修复调整机床前后轴承，尤其是止推垫片
	4）滚刀用钝	4）更换新刀
(2) 齿形不对称 	1）滚刀安装不对中	1）用“啃刀花”法或对刀规对刀
	2）滚刀刃磨后，前刀面的径向误差大	2）控制滚刀刃磨质量
	3）滚刀刃磨后，螺旋角或导程误差大	3）重新调整滚刀的安装角
	4）滚刀安装角的误差太大	

（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
(3) 齿形角不对 	1）滚刀本身的齿形角误差太大 2）滚刀刃磨后，前刀面的径向误差大 3）滚刀安装角的误差大	1）合理选用滚刀的精度 2）控制滚刀的刃磨质量 3）重新调整滚刀的安装角
(4) 齿形周期性误差 	1）滚刀安装后，径向跳动或轴向窜动大 2）机床工作台回转不均匀 3）跨轮或分齿交换齿轮安装偏心或齿面磕碰 4）刀架滑板有松动 5）工件装夹不合理产生振摆	1）控制滚刀的安装精度 2）检查机床工作台分度蜗杆的轴向窜动，并调整修复 3）检查跨轮及分齿交换齿轮的安装及运转状况 4）调整刀架滑板的塞铁 5）合理选用工件装夹的正确方案

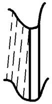
（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿圈径向跳动超差	工件内孔中心与机床工作台回转中心不重合 （1）有关机床、夹具方面： 1）工作台径向跳动大 2）心轴磨损或径向跳动大 3）上下顶针有摆差或松动 4）夹具定位端面与工作台回转中心线不垂直 5）工件装夹元件，例如垫圈和螺母精度不够 （2）有关工件方面： 1）工件定位孔直径超差 2）用找正工件外圆安装时，外圆与内孔的同轴度超差 3）工件夹紧刚性差	着眼于控制机床工作台的回转精度与工件的正确安装 （1）有关机床和夹具方面： 1）检查并修复工作台回转导轨 2）合理使用和保养工件心轴 3）修复后立柱及上顶针的精度 4）切削前，应校正夹具定位端面的端面跳动。定位端面只准内凹 5）装夹元件、垫圈两平面应平行；夹紧螺母端面对螺纹中心线应垂直 （2）有关工件方面： 1）控制工件定位孔的尺寸精度 2）控制工件外圆与内孔的同轴度误差 3）夹紧力应施加于工件刚性足够的部位

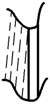
（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿向误差超差	滚刀垂直进给方向与齿坯内孔轴线方向偏斜太大。加工斜齿轮时，还附加运动的不正确	着眼于控制机床几何精度和工件的正确安装。下列第4)、5)、6)、7)条，主要适用于加工斜齿轮时
	（1）有关机床和夹具方面： 1）立柱三角导轨与工作台轴线不平行 2）工作台端面跳动大 3）上、下顶尖不同轴 4）分度蜗轮副的啮合间隙大 5）分度蜗轮副的传动存在周期性误差 6）垂直进给丝杠螺距误差大 7）分齿、差动交换齿轮误差大	（1）有关机床和夹具方面： 1）修复立柱精度，控制机床热变形 2）修复工作台的回转精度 3）修复后立柱或上、下顶针的精度 4）合理调整分度蜗轮副的啮合间隙 5）修复分度蜗轮副的零件精度，并合理调整安装 6）垂直进给丝杠因使用磨损而精度达不到时，应及时更换 7）应控制差动交换齿轮的计算误差

（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿向误差超差	（2）有关工件方面： 1）齿坯两端面不平行 2）工件定位孔与端面不垂直	（2）有关工件方面： 1）控制齿坯两端面的平行度误差 2）控制齿坯定位孔与端面的垂直度
齿距累积误差超差	滚齿机工作台每一转中回转不均匀的最大误差太大： 1）分度蜗轮副传动精度误差 2）工作台的径向跳动与端面跳动大 3）分齿交换齿轮啮合太松或存在磕碰现象	着眼于分齿运动链的精度，尤其是分度蜗轮副与滚刀两方面： 1）修复分度蜗轮副的传动精度 2）修复工作台的回转精度 3）检查分齿交换齿轮的啮合松紧和运转状况
齿面缺陷 (1) 撕裂 	1）齿坯材质不均匀 2）齿坯热处理方法不当	1）控制齿坯材料质量 2）正确选用热处理方法，尤其是调质处理后的硬度，建议采用正火处理

（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿面缺陷 (1) 撕裂 	3）切削用量选用不合理而产生积屑瘤 4）切削液效能不高 5）滚刀用钝，不锋利	3）正确选用切削用量，避免产生积屑瘤 4）正确选用切削液，尤其要注意它的润滑性能 5）更换新刀
(2) 啃齿 	由滚刀与齿坯的相互位置发生突然变化所造成： 1）立柱三角导轨太松，造成滚刀进给突然变化时立柱三角导轨太紧，造成爬行现象 2）刀架斜齿轮啮合间隙大 3）油压不稳定	寻找和消除一些突然因素： 1）调整立柱三角导轨：要求紧松适当 2）刀架斜齿轮若因使用时间久而磨损：应更换 3）合理保养机床，尤其是清洁，使油路保持畅通：油压保持稳定

（续）

缺陷名称	主要原因	解决方法
(3) 振纹 	由振动所造成： 1）机床内部某传动环节的间隙大 2）工件与滚刀的装夹刚性不够	寻找与消除振动源： 1）对于使用时间久而磨损严重的机床及时大修 2）提高滚刀的装夹刚性，例如缩小支承间距离；带柄滚刀应尽量加大轴径等
	3）切削用量选用太大 4）后托架安装后，间隙大	提高工件的装夹刚性。例如，尽量加大支承端面，支承端面（包括工件）只准内凹；缩短上下顶针间距离 3）正确选用切削用量 4）正确安装后托架
(4) 鱼鳞 	齿坯热处理方法不当，其中在加工调质处理后的钢件时比较多见	1）酌情控制调质处理的硬度 2）建议采用正火处理作为齿坯的预先热处理

五、交换齿轮表（表 4-28）

表 4-28　交换齿轮表

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
14.40000	100	25	90	25	7.68000	80	25	60	25
12.80000	100	25	80	25	7.61905	100	30	80	35
12.00000	100	25	90	30	7.50000	100	30	90	40
11.52000	90	25	80	25	7.46667	80	25	70	30
11.20000	100	25	70	25	7.33333	100	25	55	30
10.66667	100	25	80	30	7.20000	100	25	90	50
10.28571	100	25	90	35	7.04000	80	25	55	25
10.08000	90	25	70	25	7.00000	100	25	70	40
9.60000	100	25	60	25	6.85714	100	25	60	35
9.33333	100	25	70	30	6.72000	70	25	60	25
9.14286	100	25	80	35	6.66667	100	30	80	40
9.00000	100	25	90	40	6.60000	90	25	55	30
8.96000	80	25	70	25	6.54545	100	25	90	55
8.80000	100	25	55	25	6.42857	100	35	90	40
8.64000	90	25	60	25	6.40000	100	25	80	50
8.57143	100	30	90	35	6.30000	90	25	70	40
8.40000	90	25	70	30	6.28571	100	25	55	35
8.22857	90	25	80	35	6.17143	90	25	60	35
8.00000	100	25	80	40	6.16000	70	25	55	25
7.92000	90	25	55	25	6.00000	100	25	90	60

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
5.86667	80	25	55	30	5.04000	90	25	70	50
5.83333	100	30	70	40	5.02857	80	25	55	35
5.81818	100	25	80	55	5.00000	100	30	90	60
5.76000	90	25	80	50	4.95000	90	25	55	40
5.71429	100	35	80	40	4.84848	100	30	80	55
5.65714	90	25	55	35	4.80000	100	25	60	50
5.60000	100	25	70	50	4.76190	100	30	50	35
5.50000	100	25	55	40	4.71429	90	30	55	35
5.48571	80	25	60	35	4.67532	100	35	90	55
5.45455	100	30	90	55	4.66667	100	25	70	60
5.40000	90	25	60	40	4.58333	100	30	55	40
5.33333	100	25	80	60	4.58182	90	25	70	55
5.28000	60	25	55	25	4.57143	100	25	80	70
5.25000	90	30	70	40	4.50000	100	25	90	80
5.23810	100	30	55	35	4.48000	80	25	70	50
5.23636	90	25	80	55	4.44444	100	30	80	60
5.14286	100	25	90	70	4.40000	100	25	55	50
5.13333	70	25	55	30	4.36364	100	25	60	55
5.12000	80	25	40	25	4.32000	90	25	60	50
5.09091	100	25	70	55	4.28571	100	30	90	70

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
4.26667	80	25	40	30	3.80952	100	30	80	70
4.24242	100	30	70	55	3.77143	60	25	55	35
4.20000	90	25	70	60	3.75000	100	30	90	80
4.19048	80	30	55	35	3.74026	90	35	80	55
4.16667	100	30	50	40	3.73333	80	25	70	60
4.15584	100	35	80	55	3.67347	100	35	90	70
4.12500	90	30	55	40	3.66667	100	25	55	60
4.11429	90	25	80	70	3.65714	80	25	40	35
4.09091	100	40	90	55	3.63636	100	40	80	55
4.07273	80	25	70	55	3.60000	100	25	90	100
4.00000	100	25	90	90	3.57143	100	35	50	40
3.96000	90	25	55	50	3.55556	100	25	80	90
3.92857	100	35	55	40	3.53571	90	35	55	40
3.92727	90	25	60	55	3.52000	80	25	55	50
3.92000	70	25	35	25	3.50000	100	25	70	80
3.88889	100	30	70	60	3.49091	80	25	60	55
3.85714	90	35	60	40	3.42857	100	25		70
3.85000	70	25	55	40	3.39394	80		70	55
3.84000	80	25	60	50	3.36000	70		60	50
3.81818	90	30	70	55	3.33333	100	30	90	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
3.30000	90	25	55	60	2.93878	90	35	80	70
3.27273	100	50	90	55	2.93333	80	25	55	60
3.26667	70	25	35	30	2.91667	100	30	70	80
3.26531	100	35	80	70	2.90909	100	50	80	55
3.21429	100	35	90	80	2.88000	90	25	80	100
3.20833	70	30	55	40	2.86364	90	40	70	55
3.20000	100	25	80	100	2.85714	100	35	90	90
3.18182	100	40	70	55	2.82857	90	25	55	70
3.15000	90	25	70	80	2.81250	100	40	90	80
3.14286	100	25	55	70	2.80519	90	35	60	55
3.11688	100	35	60	55	2.80000	100	25	70	100
3.11111	100	25	70	90	2.77778	100	30	50	60
3.08571	90	25	60	70	2.75000	100	25	55	80
3.08000	70	25	55	50	2.74286	80	25	60	70
3.05556	100	30	55	60	2.72727	100	55	90	60
3.05455	70	25	60	55	2.70000	90	25	60	80
3.04762	80	30	40	35	2.66667	100	30	80	100
3.03030	100	30	50	55	2.64000	60	25	55	50
3.00000	100	30	90	100	2.62500	90	30	70	80
2.96296	100	30	80	90	2.61905	100	30	55	70

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
2.61818	90	50	80	55	2.38095	100	30	50	70
2.59740	100	35	50	55	2.35714	90	30	55	70
2.59259	100	30	70	90	2.33766	100	55	90	70
2.57143	100	35	90	100	2.33333	100	30	70	100
2.56667	70	25	55	60	2.32727	80	25	40	55
2.56000	80	25	40	50	2.29167	100	30	55	80
2.54545	100	50	70	55	2.29091	90	50	70	55
2.53968	100	35	80	90	2.28571	100	35	80	100
2.52000	90	25	70	100	2.27273	100	40	50	55
2.51429	80	25	55	70	2.25000	100	40	90	100
2.50000	100	40	90	90	2.24490	100	35	55	70
2.49351	80	35	60	55	2.24000	80	25	70	100
2.48889	80	25	70	90	2.22222	100	40	80	90
2.47500	90	25	55	80	2.20408	90	35	60	70
2.45455	90	40	60	55	2.20000	100	25	55	100
2.45000	70	25	35	40	2.18750	100	40	70	80
2.44898	100	35	60	70	2.18182	100	50	60	55
2.44444	100	25	55	90	2.16000	90	25	60	100
2.42424	100	55	80	60	2.14286	100	60	90	70
2.40000	100	25	60	100	2.13889	70	30	55	60

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
2.13333	80	25	60	90	1.96000	70	25	35	50
2.12121	100	55	70	60	1.95918	80	35	60	70
2.10000	90	30	70	100	1.95556	80	25	55	90
2.09524	80	30	55	70	1.94444	100	40	70	90
2.08333	100	30	50	80	1.93939	80	30	40	55
2.07792	100	55	80	70	1.92857	90	35	60	80
2.07407	80	30	70	90	1.92500	70	25	55	80
2.06250	90	30	55	80	1.92000	80	25	60	100
2.05714	90	35	80	100	1.90909	90	55	70	60
2.04545	100	55	90	80	1.90476	100	60	80	70
2.04167	70	30	35	40	1.88571	60	25	55	70
2.04082	100	35	50	70	1.87500	100	60	90	80
2.03704	100	30	55	90	1.87013	90	55	80	70
2.03636	80	50	70	55	1.86667	80	30	70	100
2.02041	90	35	55	70	1.85185	100	30	50	90
2.00000	100	50	90	90	1.83673	90	35	50	70
1.98000	90	25	55	100	1.83333	100	30	55	100
1.96875	90	40	70	80	1.82857	80	25	40	70
1.96429	100	35	55	80	1.81818	100	55	90	90
1.96364	90	50	60	55	1.80000	100	50	90	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.79592	80	35	55	70	1.63265	100	35	40	70
1.78571	100	35	50	80	1.62963	80	30	55	90
1.78182	70	25	35	55	1.61616	100	55	80	90
1.77778	100	50	80	90	1.60714	100	70	90	80
1.76786	90	35	55	80	1.60417	70	30	55	80
1.76000	80	25	55	100	1.60000	100	50	80	100
1.75000	100	40	70	100	1.59091	100	55	70	80
1.74603	100	35	55	90	1.58730	100	35	50	90
1.74545	80	50	60	55	1.57500	90	40	70	100
1.71875	100	40	55	80	1.57143	100	35	55	100
1.71429	100	35	60	100	1.56250	100	40	50	80
1.71111	70	25	55	90	1.55844	100	55	60	70
1.69697	80	55	70	60	1.55556	100	50	70	90
1.68750	90	40	60	80	1.54688	90	40	55	80
1.68000	70	25	60	100	1.54286	90	35	60	100
1.66667	100	60	90	90	1.54000	70	25	55	100
1.66234	80	35	40	55	1.52778	100	40	55	90
1.65000	90	30	55	100	1.52727	70	50	60	55
1.63636	100	55	90	100	1.52381	80	35	60	90
1.63333	70	25	35	60	1.51515	100	55	50	60

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.50000	100	60	90	100	1.37143	80	35	60	100
1.48485	70	30	35	55	1.36364	100	55	60	80
1.48148	100	60	80	90	1.36111	70	30	35	60
1.46939	90	35	40	70	1.35000	90	40	60	100
1.46667	80	30	55	100	1.34694	60	35	55	70
1.45833	100	60	70	80	1.33333	100	60	80	100
1.45455	100	55	80	100	1.32000	60	25	55	100
1.44000	90	50	80	100	1.31250	90	60	70	80
1.43182	90	55	70	80	1.30952	100	60	55	70
1.42857	100	70	90	90	1.30909	90	55	80	100
1.42593	70	30	55	90	1.30612	80	35	40	70
1.42222	80	25	40	90	1.29870	100	55	50	70
1.41429	90	35	55	100	1.29630	100	60	70	90
1.41414	100	55	70	90	1.28571	100	70	90	100
1.40625	90	40	50	80	1.28333	70	30	55	100
1.40260	90	55	60	70	1.28000	80	25	40	100
1.40000	100	50	70	100	1.27273	100	55	70	100
1.39683	80	35	55	90	1.26984	100	70	80	90
1.38889	100	40	50	90	1.26000	90	50	70	100
1.37565	100	40	55	100	1.25714	80	35	55	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.25000	100	80	90	90	1.13636	100	55	50	80
1.24675	80	55	60	70	1.13131	80	55	70	90
1.24444	80	50	70	90	1.12500	100	80	90	100
1.23750	90	40	55	100	1.12245	55	35	50	70
1.22727	90	55	60	80	1.12000	80	50	70	100
1.22500	70	25	35	80	1.11364	70	40	35	55
1.22449	100	35	30	70	1.11111	100	80	80	90
1.22222	100	50	55	90	1.10204	90	35	30	70
1.21212	100	55	60	90	1.10000	100	50	55	100
1.20313	70	40	55	80	1.09375	100	40	35	80
1.20000	100	50	60	100	1.09091	100	55	60	100
1.19048	100	60	50	70	1.08889	70	25	35	90
1.18519	80	30	40	90	1.08000	90	50	60	100
1.17857	90	60	55	70	1.07143	100	70	60	80
1.16883	90	55	50	70	1.06944	70	40	55	90
1.16667	100	60	70	100	1.06667	80	50	60	90
1.16364	80	50	40	55	1.06061	100	55	35	60
1.14583	100	60	55	80	1.05000	90	60	70	100
1.14545	90	55	70	100	1.4762	80	60	55	70
1.14286	100	70	80	100	1.04167	100	60	50	80

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1.03896	100	55	40	70	0.96970	80	55	60	90
1.03704	80	60	70	90	0.96429	90	70	60	80
1.03125	90	60	55	80	0.96250	70	40	55	100
1.02857	90	70	80	100	0.96000	80	50	60	100
1.02273	90	55	50	80	0.95455	90	55	35	60
1.02083	70	30	35	80	0.95238	100	70	60	90
1.02041	100	35	25	70	0.94286	60	35	55	100
1.01852	100	60	55	90	0.93750	100	40	30	80
1.01818	80	55	70	100	0.93506	90	55	40	70
1.01587	80	35	40	90	0.93333	80	60	70	100
1.01010	100	55	50	90	0.92593	100	60	50	90
1.00000	100	90	90	100	0.91837	90	35	25	70
0.99000	90	50	55	100	0.91667	100	60	55	100
0.98438	90	40	35	80	0.91429	80	35	40	100
0.98214	100	70	55	80	0.90909	100	55	50	100
0.98182	90	55	60	100	0.90741	70	30	35	90
0.98000	70	25	35	100	0.90000	90	80	80	100
0.97959	80	35	30	70	0.89796	55	35	40	70
0.97778	80	50	55	90	0.89286	100	70	50	80
0.97222	100	80	70	90	0.89091	70	50	35	55

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0.88889	100	90	80	100	0.80357	90	70	50	80
0.88393	90	70	55	80	0.80208	70	60	55	80
0.88000	80	50	55	100	0.80000	100	50	40	100
0.87500	100	80	70	100	0.79545	100	55	35	80
0.87302	100	70	55	90	0.79365	100	70	50	90
0.87273	80	55	60	100	0.78750	90	80	70	100
0.85938	55	40	50	80	0.78571	100	70	55	100
0.85714	100	70	60	100	0.78125	100	40	25	80
0.85556	70	50	55	90	0.77922	100	55	30	70
0.84848	80	55	35	60	0.77778	100	90	70	100
0.84375	90	40	30	80	0.77143	90	70	60	100
0.84000	70	50	60	100	0.77000	70	50	55	100
0.83333	100	80	60	90	0.76563	70	40	35	80
0.83117	80	55	40	70	0.76389	100	80	55	90
0.82500	90	60	55	100	0.76364	70	55	60	100
0.81818	90	55	50	100	0.76190	80	70	60	90
0.81667	70	30	35	100	0.75758	100	55	25	60
0.81633	80	35	25	70	0.75000	100	80	60	100
0.81481	80	60	55	90	0.74242	70	55	35	60
0.80808	100	55	40	90	0.74074	100	60	40	90

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 73469	60	35	30	70	0. 67347	55	35	30	70
0. 73333	80	60	55	100	0. 66667	100	90	60	100
0. 72917	100	60	35	80	0. 66000	60	50	55	100
0. 72727	100	55	40	100	0. 65625	90	60	35	80
0. 72000	90	50	40	100	0. 65476	55	60	50	70
0. 71591	90	55	35	80	0. 65455	90	55	40	100
0. 71429	100	70	50	100	0. 64935	100	55	25	70
0. 71296	70	60	55	90	0. 64815	100	60	35	90
0. 71111	80	50	40	90	0. 64646	80	55	40	90
0. 70707	100	55	35	90	0. 64286	90	70	50	100
0. 70313	90	40	25	80	0. 64167	70	60	55	100
0. 70130	90	55	30	70	0. 64000	80	50	40	100
0. 70000	100	50	35	100	0. 63636	100	55	35	100
0. 69841	80	70	55	90	0. 63492	100	70	40	90
0. 69444	100	80	50	90	0. 63000	90	50	35	100
0. 68750	100	80	55	100	0. 62857	80	70	55	100
0. 68571	80	70	60	100	0. 62500	100	80	50	100
0. 68182	100	55	30	80	0. 62338	80	55	30	70
0. 68056	70	40	35	90	0. 62222	80	90	70	100
0. 67500	90	80	60	100	0. 61875	90	80	55	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 61364	90	55	30	80	0. 56000	80	50	35	100
0. 61250	70	40	35	100	0. 55682	70	55	35	80
0. 61224	60	35	25	70	0. 55556	100	90	50	100
0. 61111	100	90	55	100	0. 55000	90	90	55	100
0. 60606	100	55	30	90	0. 54688	70	40	25	80
0. 60156	55	40	35	80	0. 54545	100	55	30	100
0. 60000	100	50	30	100	0. 54444	70	50	35	90
0. 59524	100	60	25	70	0. 54000	90	50	30	100
0. 59259	80	60	40	90	0. 53571	100	70	30	80
0. 58929	60	70	55	80	0. 53472	70	80	55	90
0. 58442	90	55	25	70	0. 53333	80	90	60	100
0. 58333	100	60	35	100	0. 53030	70	55	25	60
0. 58182	80	55	40	100	0. 52500	90	60	35	100
0. 57292	55	60	50	80	0. 52381	60	70	55	90
0. 57273	90	55	35	100	0. 52083	100	60	25	80
0. 57143	100	70	40	100	0. 51948	80	55	25	70
0. 56818	100	55	25	80	0. 51852	80	60	35	90
0. 56566	80	55	35	90	0. 51563	55	40	30	80
0. 56250	90	80	50	100	0. 51429	90	70	40	100
0. 56122	55	35	25	70	0. 51136	90	55	25	80

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 51042	70	60	35	80	0. 47143	60	70	55	100
0. 51020	50	35	25	70	0. 46875	90	60	25	80
0. 50926	55	60	50	90	0. 46753	60	55	30	70
0. 50909	80	55	35	100	0. 46667	80	60	35	100
0. 50794	80	70	40	90	0. 46296	100	60	25	90
0. 50505	100	55	25	90	0. 45833	60	80	55	90
0. 50000	100	80	40	100	0. 45714	80	70	40	100
0. 49495	70	55	35	90	0. 45455	100	55	25	100
0. 49107	55	70	50	80	0. 45370	70	60	35	90
0. 49091	90	55	30	100	0. 45000	90	80	40	100
0. 49000	70	50	35	100	0. 44643	100	70	25	80
0. 48980	40	35	30	70	0. 44545	70	55	35	100
0. 48889	80	90	55	100	0. 44444	100	90	40	100
0. 48611	100	80	35	90	0. 44000	55	50	40	100
0. 48485	80	55	30	90	0. 43750	100	80	35	100
0. 48214	90	70	30	80	0. 43651	55	70	50	90
0. 48125	70	80	55	100	0. 43636	80	55	30	100
0. 48000	80	50	30	100	0. 42969	55	40	25	80
0. 47727	70	55	30	80	0. 42857	100	70	30	100
0. 47619	100	70	30	90	0. 42778	70	90	55	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 42424	70	55	30	90	0. 38500	55	50	35	100
0. 42000	70	50	30	100	0. 38194	55	80	50	90
0. 41667	100	80	30	90	0. 38182	70	55	30	100
0. 41250	60	80	55	100	0. 38095	80	70	30	90
0. 40909	90	55	25	100	0. 37879	50	55	25	60
0. 40833	70	60	35	100	0. 37500	100	80	30	100
0. 40816	40	35	25	70	0. 37037	80	60	25	90
0. 40741	55	60	40	90	0. 36667	60	90	55	100
0. 40404	80	55	25	90	0. 36458	70	60	25	80
0. 40179	90	70	25	80	0. 36364	80	55	25	100
0. 40104	55	60	35	80	0. 36000	60	50	30	100
0. 40000	90	90	40	100	0. 35714	100	70	25	100
0. 39773	70	55	25	80	0. 35648	55	60	35	90
0. 39683	100	70	25	90	0. 35556	80	90	40	100
0. 39375	90	80	35	100	0. 35354	70	55	25	90
0. 39286	55	70	50	100	0. 35000	90	90	35	100
0. 39063	50	40	25	80	0. 34921	55	70	40	90
0. 38961	60	55	25	70	0. 34722	100	80	25	90
0. 38889	100	90	35	100	0. 34375	55	80	50	100
0. 38571	90	70	30	100	0. 34286	80	70	30	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 34091	60	55	25	80	0. 30556	55	90	50	100
0. 34028	70	80	35	90	0. 30303	60	55	25	90
0. 33750	90	80	30	100	0. 30000	90	90	30	100
0. 33333	100	90	30	100	0. 29762	50	60	25	70
0. 33000	55	50	30	100	0. 29464	55	70	30	80
0. 32813	35	40	30	80	0. 29167	70	80	30	90
0. 32738	55	60	25	70	0. 28646	55	60	25	80
0. 32727	60	55	30	100	0. 28571	80	70	25	100
0. 32468	50	55	25	70	0. 28409	50	55	25	80
0. 32407	70	60	25	90	0. 28283	40	55	35	90
0. 32143	90	70	25	100	0. 28125	90	80	25	100
0. 32083	55	60	35	100	0. 28000	40	50	35	100
0. 31818	70	55	25	100	0. 27778	100	90	25	100
0. 31746	80	70	25	90	0. 27500	55	80	40	100
0. 31429	55	70	40	100	0. 27344	35	40	25	80
0. 31250	100	80	25	100	0. 27273	60	55	25	100
0. 31169	40	55	30	70	0. 27222	70	90	35	100
0. 31111	80	90	35	100	0. 26786	60	70	25	80
0. 30625	70	80	35	100	0. 26736	55	80	35	90
0. 30612	30	35	25	70	0. 26667	80	90	30	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 26515	35	55	25	60	0. 23571	55	70	30	100
0. 26250	70	80	30	100	0. 23438	30	40	25	80
0. 26190	55	70	30	90	0. 23333	70	90	30	100
0. 26042	50	60	25	80	0. 23148	50	60	25	90
0. 25974	40	55	25	70	0. 22917	55	80	30	90
0. 25926	40	60	35	90	0. 22727	50	55	25	100
0. 25714	60	70	30	100	0. 22500	60	80	30	100
0. 25510	25	35	25	70	0. 22321	50	70	25	80
0. 25463	55	60	25	90	0. 22222	80	90	25	100
0. 25455	40	55	35	100	0. 21875	70	80	25	100
0. 25253	50	55	25	90	0. 21825	55	70	25	90
0. 25000	90	90	25	100	0. 21818	40	55	30	100
0. 24554	55	70	25	80	0. 21429	60	70	25	100
0. 24444	55	90	40	100	0. 21389	55	90	35	100
0. 24306	70	80	25	90	0. 21212	35	55	30	90
0. 24242	40	55	30	90	0. 21000	35	50	30	100
0. 24063	55	80	35	100	0. 20833	60	80	25	90
0. 24000	40	50	30	100	0. 20625	55	80	30	100
0. 23864	35	55	30	80	0. 20202	40	55	25	90
0. 23810	60	70	25	90	0. 20000	60	90	30	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 19886	35	55	25	80	0. 17143	40	70	30	100
0. 19841	50	70	25	90	0. 17045	30	55	25	80
0. 19643	55	70	25	100	0. 16667	60	90	25	100
0. 19531	25	40	25	80	0. 16234	25	55	25	70
0. 19481	30	55	25	70	0. 16204	35	60	25	90
0. 19444	70	90	25	100	0. 15909	35	55	25	100
0. 19097	55	80	25	90	0. 15873	40	70	25	90
0. 19091	35	55	30	100	0. 15625	50	80	25	100
0. 19048	40	70	30	90	0. 15556	40	90	35	100
0. 18939	25	55	25	60	0. 15278	55	90	25	100
0. 18750	60	80	25	100	0. 15152	30	55	25	90
0. 18519	40	60	25	90	0. 15000	40	80	30	100
0. 18333	55	90	30	100	0. 14881	25	60	25	70
0. 18229	35	60	25	80	0. 14583	35	80	30	90
0. 18182	40	55	25	100	0. 14286	40	70	25	100
0. 17857	50	70	25	100	0. 14205	25	55	25	80
0. 17677	35	55	25	90	0. 13889	50	90	25	100
0. 17500	40	80	35	100	0. 13636	30	55	25	100
0. 17361	50	80	25	90	0. 13393	30	70	25	80
0. 17188	55	80	25	100	0. 13333	40	90	30	100

（续）

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0. 13125	35	80	30	100	0. 10938	35	80	25	100
					0. 10714	30	70	25	100
0. 13021	25	60	25	80	0. 10417	30	80	25	90
0. 12626	25	55	25	90	0. 09921	25	70	25	90
0. 12500	40	80	25	100	0. 09722	35	90	25	100
0. 12153	35	80	25	90					
0. 11905	30	70	25	90	0. 09375	30	80	25	100
					0. 08929	25	70	25	100
0. 11667	35	90	30	100	0. 08681	25	80	25	90
0. 11574	25	60	25	90	0. 08333	30	90	25	100
0. 11364	25	55	25	100	0. 07813	25	80	25	100
0. 11161	25	70	25	80					
0. 11111	40	90	25	100	0. 06944	25	90	25	100

六、齿轮测量

1. 公法线长度的测量

（1）标准直齿圆柱齿轮公法线长度测量

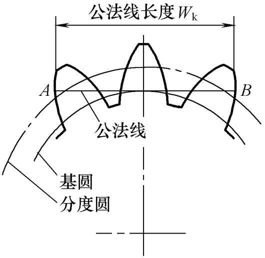
1）公法线长度计算公式见表 4-29。

2）标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值见表 4-30。

（2）斜齿圆柱齿轮公法线长度的测量

1）公法线长度及跨测齿数的计算公式。

表 4-29　公法线长度计算公式（简化后）



压力角 α	公法线长度 W_k/mm	跨越齿数 k
20°	$W_k = m\cos20°[\pi(k-0.5)+0.0149z]$ $= m\times[2.952(k-0.5)+0.014z]$	$k = \frac{\alpha}{180°}z+0.5$ $=0.111z+0.5$
$14\frac{1°}{2}$	$W_k = m\cos14\frac{1°}{2}[\pi(k-0.5)+0.00555z]$ $= m\times[3.0415(k-0.5)+0.00537z]$	$k = \frac{\alpha}{180°}z+0.5$ $=0.08z+0.5$

表 4-30　标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值

（$m=1$，$\alpha=20°$）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
10	2	4.5683	28	4	10.7246
11	2	4.5823	29	4	10.7386
12	2	4.5963	30	4	10.7526
13	2	4.6103	31	4	10.7666
14	2	4.6243	32	4	10.7806
15	2	4.6383	33	4	10.7946
16	2	4.6523	34	4	10.8086
17	2	4.6663	35	4	10.8226
18	2	4.6803	36	4	10.8367
19	3	7.6464	37	5	13.8028
20	3	7.6604	38	5	13.8168
21	3	7.6744	39	5	13.8308
22	3	7.6884	40	5	13.8448
23	3	7.7025	41	5	13.8588
24	3	7.7165	42	5	13.8728
25	3	7.7305	43	5	13.8868
26	3	7.7445	44	5	13.9008
27	3	7.7585	45	5	13.9148

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
46	6	16.8810	64	8	23.0373
47	6	16.8950	65	8	23.0513
48	6	16.9090	66	8	23.0653
49	6	16.9230	67	8	23.0793
50	6	16.9370	68	8	23.0933
51	6	16.9510	69	8	23.1074
52	6	16.9650	70	8	23.1214
53	6	16.9790	71	8	23.1354
54	6	16.9930	72	8	23.1494
55	7	19.9591	73	9	26.1155
56	7	19.9732	74	9	26.1295
57	7	19.9872	75	9	26.1435
58	7	20.0012	76	9	26.1575
59	7	20.0152	77	9	26.1715
60	7	20.0292	78	9	26.1855
61	7	20.0432	79	9	26.1995
62	7	20.0572	80	9	26.2135
63	7	20.0712	81	9	26.2275

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
82	10	29.1937	100	12	35.3500
83	10	29.2077	101	12	35.3641
84	10	29.2217	102	12	35.3781
85	10	29.2357	103	12	35.3921
86	10	29.2497	104	12	35.4061
87	10	29.2637	105	12	35.4201
88	10	29.2777	106	12	35.4341
89	10	29.2917	107	12	35.4481
90	10	29.3057	108	12	35.5572
91	11	32.2719	109	13	38.4282
92	11	32.2859	110	13	38.4422
93	11	32.2999	111	13	38.4563
94	11	32.3139	112	13	38.4703
95	11	32.3279	113	13	38.4843
96	11	32.3419	114	13	38.4983
97	11	32.3559	115	13	38.5123
98	11	32.3699	116	13	38.5263
99	11	32.3839	117	13	38.5403

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
118	14	41.5064	136	16	47.6628
119	14	41.5205	137	16	47.6768
120	14	41.5344	138	16	47.6908
121	14	41.5484	139	16	47.7048
122	14	41.5625	140	16	47.7188
123	14	41.5765	141	16	47.7328
124	14	41.5905	142	16	47.7468
125	14	41.6045	143	16	47.7608
126	14	41.6185	144	16	47.7748
127	15	44.5846	145	17	50.7410
128	15	44.5986	146	17	50.7550
129	15	44.6126	147	17	50.7690
130	15	44.6266	148	17	50.7830
131	15	44.6406	149	17	50.7970
132	15	44.6546	150	17	50.8110
133	15	44.6686	151	17	50.8250
134	15	44.6826	152	17	50.8390
135	15	44.6966	153	17	50.8530

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
154	18	53.8192	172	20	59.9755
155	18	53.8332	173	20	59.9895
156	18	53.8472	174	20	60.0035
157	18	53.8612	175	20	60.0175
158	18	53.8752	176	20	60.0315
159	18	53.8892	177	20	60.0456
160	18	53.9032	178	20	60.0596
161	18	53.9172	179	20	60.0736
162	18	53.9312	180	20	60.0876
163	19	56.8973	181	21	63.0537
164	19	56.9113	182	21	63.0677
165	19	56.9254	183	21	63.0817
166	19	56.9394	184	21	63.0957
167	19	56.9534	185	21	63.1097
168	19	56.9674	186	21	63.1237
169	19	56.9814	187	21	63.1377
170	19	56.9954	188	21	63.1517
171	19	57.0094	189	21	63.1657

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm	被测齿轮总齿数 z	跨越齿数 k	公法线长度值 W_k/mm
190	22	66.1319	195	22	66.2019
191	22	66.1459	196	22	66.2159
192	22	66.1599	197	22	66.2299
193	22	66.1739	198	22	66.2439
194	22	66.1879	199	23	69.2101
			200	23	69.2241

注：1. 若模数 m 不等于 1，其 W_k 值等于表中的 W_k 值乘 m。
2. 内齿轮公法线长度，可以按上表查得，测量方法如图 4-8 所示。

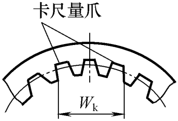


图 4-8　内齿轮公法线的测量

公法线长度：

$$W_{kn} = m_n \cos\alpha_n [\pi(k-0.5) + z\text{inv}\alpha_t]$$

式中　W_{kn}——法向公法线长度（mm）；
m_n——法向模数；
α_n——法向压力角（°）；
α_t——端面压力角（°）；

inv——渐开线函数；

k——跨测齿数。

一般加工时图样上给出 α_n，因此可用下面的公式计算出 α_t：

$$\tan\alpha_t = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}$$

式中　β——螺旋角（°）。

跨测齿数：

$$k = \frac{\alpha_t z}{180^\circ\cos^3\beta} + 0.5$$

注意：齿宽 $b \geqslant W_{kn}\sin\beta$，才能测量。测量时要在法线上进行（图 4-9）。

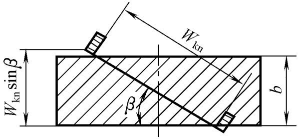


图 4-9　$b < W_{kn}\sin\beta$ 时斜齿轮不能测量公法线长度示意图

例　已知一斜齿轮 $z = 26$，$m_n = 3.25$，$\alpha_n = 20^\circ$，螺旋角 $\beta = 21^\circ 47' 12''$。求该齿轮的公法线长度 W_{kn} 以及跨测齿数 k。

解　先求出 α_t：

$$\tan\alpha_t = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 21^\circ 47' 12''} = 0.39196$$

则 $\alpha_t = 21^\circ 24' 11''$。

再求跨测齿数 k：

$$k = \frac{\alpha_t z}{180°\cos^3\beta} + 0.5$$
$$= \frac{21°24'11''}{180°} \times \frac{26}{\cos^3 21°47'12''} + 0.5$$
$$= 3.863 \approx 4$$

由渐开线函数表中查得：

$$\text{inv}\alpha_t = \text{inv}21°24'11'' = 0.0184$$

将上面所得数值代入公法线计算公式：

$$W_{kn} = m_n \cos\alpha_n [\pi(k-0.5) + z\,\text{inv}\alpha_t]$$
$$= 3.25\cos 20° [3.1416(4-0.5) + 26 \times 0.0184]\text{mm}$$
$$= 35.042\text{mm}$$

2）渐开线函数见表 4-31。

表 4-31　渐开线函数表

α /（°）	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′
1	0. 000	00177	00225	00281	00346	00420	00504
2	0. 000	01418	01603	01804	02020	02253	02503
3	0. 000	04790	05201	05634	06091	06573	07079
4	0. 000	11364	12090	12847	13634	14453	15305
5	0. 000	22220	23352	24522	25731	26978	28266
6	0. 00	03845	04008	04175	04347	04524	04706
7	0. 00	06115	06337	06564	06797	07035	07279
8	0. 00	09145	09435	09732	10034	10343	10559

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′
9	0. 00	13048	13416	13792	14174	14563	14960
10	0. 00	17941	18397	18860	19332	19812	20299
11	0. 00	23941	24495	25057	25628	26208	26797
12	0. 00	31171	31832	32504	33185	33875	34575
13	0. 00	39754	40534	41325	42126	42938	43760
14	0. 00	49819	50729	51650	52582	53526	54482
15	0. 00	61498	62548	63611	64686	65773	66873
16	0. 0	07493	07613	07735	07857	07982	08107
17	0. 0	09025	09161	09299	09439	09580	09722
18	0. 0	10760	10915	11071	11228	11387	11547
19	0. 0	12715	12888	13063	13240	13418	13598
20	0. 0	14904	15098	15293	15490	15689	15890
21	0. 0	17345	17560	17777	17996	18217	18440
22	0. 0	20054	20292	20533	20775	21019	21266
23	0. 0	23049	23312	23577	23845	24114	24386
24	0. 0	26350	26639	26931	27225	27521	27820
25	0. 0	29975	30293	30613	30935	31260	31587
26	0. 0	33947	34294	34644	34997	35352	35709
27	0. 0	38287	38666	39047	39432	39819	40209
28	0. 0	43017	43430	43845	44264	44685	45110

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′
29	0. 0	48164	48612	49064	49518	49976	50437
30	0. 0	53751	54238	54728	55221	55717	56217
31	0. 0	59809	60336	60866	61400	61937	62478
32	0. 0	66364	66934	67507	68084	68665	69250
33	0. 0	73449	74064	74684	75307	75934	76565
34	0. 0	81097	81760	82428	83100	83777	84457
35	0. 0	89342	90058	90777	91502	92230	92963
36	0. 0	09822	09899	09977	10055	10133	10212
37	0. 0	10778	10861	10944	11028	11113	11197
38	0. 0	11806	11895	11985	12075	12165	12257
39	0. 0	12911	13006	13102	13199	13297	13395
40	0. 0	14097	14200	14303	14407	14511	14616
41	0. 0	15370	15480	15591	15703	15815	15928
42	0. 0	16737	16855	16974	17093	17214	17336
43	0. 0	18202	18329	18457	18585	18714	18844
44	0. 0	19774	19910	20047	20185	20323	20463
45	0. 0	21460	21606	21753	21900	22049	22108
46	0. 0	23268	23424	23582	23740	23899	24059
47	0. 0	25206	25374	25513	25713	25883	26055
48	0. 0	27285	27465	27646	27828	28012	28196

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′
49	0. 0	29516	29709	29903	30098	30295	30492
50	0. 0	31909	32116	32324	32534	32745	32957
51	0. 0	34478	34700	34924	35149	35376	35604
52	0. 0	37237	37476	37716	37958	38202	38446
53	0. 0	40202	40459	40717	40977	41239	41502
54	0. 0	43390	43667	43945	44225	44506	44789
55	0. 0	46822	47119	47419	47720	48023	48328
56	0. 0	50518	50838	51161	51486	51813	52141
57	0. 0	54503	54849	55197	55547	55900	56255
58	0. 0	58804	59178	59554	59933	60314	60697
59	0. 0	63454	63858	64265	64674	65086	65501

α /（°）	各行前几位相同的数字	30′	35′	40′	45′	50′	55′
1	0. 000	00598	00704	00821	00950	01992	01248
2	0. 000	02771	03058	03364	03689	04035	04402
3	0. 000	07610	08167	08751	09362	10000	10668
4	0. 000	16189	17107	18059	19045	20067	21125
5	0. 000	29594	30963	32374	33827	35324	36864
6	0. 00	04897	05093	05280	05481	05687	05898
7	0. 00	07528	07783	08044	08310	08582	08861
8	0. 00	10980	11308	11643	11984	12332	12687

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	30′	35′	40′	45′	50′	55′
9	0. 00	15363	15774	16193	16618	17051	17492
10	0. 00	20795	21299	21810	22330	22859	23396
11	0. 00	27394	28001	28616	29241	29875	30518
12	0. 00	35285	36005	36735	37474	38224	38984
13	0. 00	44593	45437	46291	47157	48033	48921
14	0. 00	55448	56427	57417	58420	59434	60460
15	0. 00	67985	69110	70248	71398	72561	73738
16	0. 0	08234	08362	08492	08623	08756	08889
17	0. 0	09866	10012	10158	10307	10456	10608
18	0. 0	11709	11873	12038	12205	12373	12543
19	0. 0	13779	13963	14148	14334	14523	14713
20	0. 0	16092	16296	16502	16710	16920	17132
21	0. 0	18665	18891	19120	19350	19583	19817
22	0. 0	21514	21765	22018	22272	22529	22788
23	0. 0	24660	24936	25214	25495	25778	26062
24	0. 0	28121	28424	28729	29037	29348	29660
25	0. 0	31917	32249	32583	32920	33260	33602
26	0. 0	36069	36432	36798	37166	37537	37910
27	0. 0	40602	40997	41395	41797	42201	42607
28	0. 0	45537	45967	46400	46837	47276	47718

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	30′	35′	40′	45′	50′	55′
29	0. 0	50901	51368	51838	52312	52788	53268
30	0. 0	56720	57226	57736	58249	58765	59285
31	0. 0	63022	63570	64122	64677	65236	65799
32	0. 0	69838	70430	71026	71626	72230	72838
33	0. 0	77200	77839	78483	79130	79781	80437
34	0. 0	85142	85832	86525	87223	87925	88631
35	0. 0	93701	94443	95190	95924	96698	97459
36	0. 0	10292	10371	10452	10533	10614	10696
37	0. 0	11283	11369	11455	11542	11630	11718
38	0. 0	12348	12441	12534	12627	12721	12815
39	0. 0	13493	13592	13692	13792	13893	13995
40	0. 0	14722	14829	14936	15043	15152	15261
41	0. 0	16041	16156	16270	16386	16502	16619
42	0. 0	17457	17579	17702	17826	17951	18076
43	0. 0	18975	19106	19238	19371	19505	19639
44	0. 0	20603	20743	20885	21028	21171	21315
45	0. 0	22348	22490	22651	22804	22958	23112
46	0. 0	24220	24382	24545	24709	24874	25040

（续）

α /（°）	各行前几位相同的数字	30′	35′	40′	45′	50′	55′
47	0.0	26228	26401	26576	26752	26929	27107
48	0.0	28381	28567	28755	28943	29133	29324
49	0.0	30691	30891	31092	31295	31493	31703
50	0.0	33171	33385	33601	33818	34037	34257
51	0.0	35833	36063	36295	36529	36763	36990
52	0.0	38693	38941	39190	39441	39693	39947
53	0.0	41767	42034	42302	42571	42843	43116
54	0.0	45074	45361	45650	45904	46232	46526
55	0.0	48635	48944	49255	49568	49882	50199
56	0.0	52472	52805	53141	53478	53817	54159
57	0.0	56612	56972	57333	57698	58064	58433
58	0.0	61083	61472	61863	62257	62653	63052
59	0.0	65919	66340	66763	67189	67618	68050

注：用法说明

1. 找出角 $\alpha = 14°30'$的 inv。$\text{inv}\alpha = 0.0055448$。
2. 找出角 $\alpha = 22°18'25''$的 inv。在表中找出 $\text{inv}22°15' = 0.020775$。表中 5′（300″）的差为 0.000244，附加的 3′25″（205″）的 inv 数值应为$\dfrac{0.000244 \times 205}{300} = 0.000167$，因此 $\text{inv}22°18'25'' = 0.020775 + 0.000167 = 0.020942$。

（3）公法线平均长度偏差及公差

1）外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{wms} 及内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{wmi} 见表 4-32。

表 4-32　外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{wms}[①] 及内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{wmi}[②]

（单位：μm）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50～80	>80～125	>125～180	>180～250
b	3	≥1～10 >10～25	63 —	71 —	80 90	100 100	112 112
	4	≥1～10 >10～25	63 —	71 —	90 90	100 100	112 112
	5	≥1～10 >10～25	71 —	80 —	90 100	100 112	112 125
	6	≥1～10 >10～25	80 —	90 —	100 112	112 125	125 140
	7	≥1～10 >10～25	90 —	100 —	112 125	125 140	140 160
	8	≥1～10 >10～25	100 —	112 —	125 140	140 160	160 180

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250
b	9	≥1~10 >10~25	112 —	125 —	140 200	160 200	180 200
	10	≥1~10 >10~25	140 —	160 —	180 224	180 250	200 250
c	3	≥1~10 >10~25	40 —	50 —	56 56	63 63	71 71
	4	≥1~10 >10~25	45 —	50 —	56 63	63 71	71 80
	5	≥1~10 >10~25	50 —	63 —	63 80	71 90	80 90
	6	≥1~10 >10~25	56 —	63 —	71 80	80 90	90 100
	7	≥1~10 >10~25	71 —	71 —	80 100	90 112	100 125
	8	≥1~10 >10~25	80 —	90 —	100 125	100 140	112 140
	9	≥1~10 >10~25	100 —	112 —	125 160	125 180	140 180
	10	≥1~10 >10~25	125 —	140 —	140 200	160 200	160 224

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	28 —	32 —	40 40	45 45	50 50
	4	≥1 ~10 >10 ~25	36 —	40 —	40 50	45 56	50 63
	5	≥1 ~10 >10 ~25	40 —	45 —	50 56	56 63	63 71
	6	≥1 ~10 >10 ~25	50 —	56 —	56 71	63 80	71 90
	7	≥1 ~10 >10 ~25	56 —	63 —	71 80	80 90	80 100
	8	≥1 ~10 >10 ~25	71 —	71 —	80 112	90 112	100 112
	9	≥1 ~10 >10 ~25	90 —	100 —	112 140	112 140	125 160
	10	≥1 ~10 >10 ~25	112 —	125 —	125 180	140 180	160 200
e	3	≥1 ~10 >10 ~25	22 —	25 —	28 36	32 40	36 40
	4	≥1 ~10 >10 ~25	25 —	28 —	32 36	36 40	40 45

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250
e	5	≥1~10 >10~25	32 —	36 —	40 50	45 56	50 56
	6	≥1~10 >10~25	40 —	45 —	50 63	56 63	56 71
	7	≥1~10 >10~25	50 —	56 —	56 80	63 90	71 90
	8	≥1~10 >10~25	63 —	63 —	71 100	80 100	80 112
	9	≥1~10 >10~25	80 —	90 —	90 140	100 140	112 140
	10	≥1~10 >10~25	100 —	112 —	112 160	125 160	140 180

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800
b	3	≥1~10 >10~25	125 125	125 140	140 140	160 160	180 180
	4	≥1~10 >10~25	125 125	140 140	140 160	160 160	180 180

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
b	5	≥1 ~10	125	140	160	180	200
		>10 ~25	140	140	160	180	200
	6	≥1 ~10	140	140	160	180	200
		>10 ~25	160	160	160	180	200
	7	≥1 ~10	140	160	160	180	200
		>10 ~25	180	180	200	224	250
	8	≥1 ~10	180	180	200	200	224
		>10 ~25	180	200	224	224	250
	9	≥1 ~10	200	200	224	250	280
		>10 ~25	224	224	250	280	315
	10	≥1 ~10	224	224	250	280	315
		>10 ~25	250	280	280	315	355
c	3	≥1 ~10	80	90	100	100	125
		>10 ~25	80	90	100	112	125
	4	≥1 ~10	80	90	100	112	125
		>10 ~25	90	90	100	112	125
	5	≥1 ~10	90	100	100	112	125
		>10 ~25	100	112	112	125	140
	6	≥1 ~10	100	112	112	125	140
		>10 ~25	112	125	125	140	160

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
c	7	≥1 ~10 >10 ~25	112 125	125 140	140 140	140 160	160 180
	8	≥1 ~10 >10 ~25	125 160	140 160	140 160	160 180	180 200
	9	≥1 ~10 >10 ~25	160 200	160 200	180 224	180 224	200 224
	10	≥1 ~10 >10 ~25	180 224	180 250	200 250	200 280	224 280
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	56 56	56 63	63 63	71 71	80 80
	4	≥1 ~10 >10 ~25	56 63	63 63	63 71	71 80	80 90
	5	≥1 ~10 >10 ~25	63 80	71 80	71 90	80 100	90 112
	6	≥1 ~10 >10 ~25	71 90	80 90	90 90	90 100	100 112
	7	≥1 ~10 >10 ~25	90 112	90 112	100 125	112 140	125 140
	8	≥1 ~10 >10 ~25	112 125	112 125	112 140	125 160	125 160

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
d	9	≥1 ~10 >10 ~25	140 160	140 180	140 180	140 200	160 200
	10	≥1 ~10 >10 ~25	160 200	160 200	160 224	180 224	180 250
e	3	≥1 ~10 >10 ~25	40 40	40 45	45 50	50 56	56 56
	4	≥1 ~10 >10 ~25	40 50	45 50	45 56	50 63	56 71
	5	≥1 ~10 >10 ~25	50 56	56 63	63 63	71 71	71 80
	6	≥1 ~10 >10 ~25	56 71	63 80	63 80	71 90	80 100
	7	≥1 ~10 >10 ~25	80 90	80 90	80 100	90 112	90 112
	8	≥1 ~10 >10 ~25	90 112	90 125	100 125	112 125	112 140
	9	≥1 ~10 >10 ~25	112 140	125 160	125 160	140 160	140 180
	10	≥1 ~10 >10 ~25	140 180	160 180	160 200	160 200	180 224

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
b	3	≥1 ~10	200	250	280	355	400
		>10 ~25	200	250	280	355	400
	4	≥1 ~10	200	250	280	355	400
		>10 ~25	224	250	280	355	400
	5	≥1 ~10	224	250	315	355	400
		>10 ~25	224	250	315	355	400
	6	≥1 ~10	224	250	315	355	400
		>10 ~25	224	280	315	355	450
	7	≥1 ~10	250	280	315	400	450
		>10 ~25	250	280	315	450	450
	8	≥1 ~10	250	280	315	400	450
		>10 ~25	280	315	355	400	450
	9	≥1 ~10	280	315	355	450	500
		>10 ~25	355	400	400	450	500
	10	≥1 ~10	355	355	400	450	500
		>10 ~25	355	400	450	560	560

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm >800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
c	3	≥1~10 >10~25	140 140	160 160	180 180	224 224	250 250
	4	≥1~10 >10~25	140 140	160 160	180 200	224 224	250 280
	5	≥1~10 >10~25	140 160	160 180	200 200	224 250	280 280
	6	≥1~10 >10~25	160 180	180 200	200 200	250 250	280 280
	7	≥1~10 >10~25	180 200	200 224	224 250	250 280	315 315
	8	≥1~10 >10~25	200 224	224 250	250 280	280 315	315 355
	9	≥1~10 >10~25	224 250	250 280	280 315	315 355	355 450
	10	≥1~10 >10~25	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	90 90	100 112	125 125	140 140	180 180
	4	≥1 ~10 >10 ~25	90 100	112 112	125 125	140 160	180 180
	5	≥1 ~10 >10 ~25	100 112	112 125	140 140	160 160	200 200
	6	≥1 ~10 >10 ~25	125 125	125 140	140 160	160 200	200 200
	7	≥1 ~10 >10 ~25	140 140	160 160	180 180	200 224	224 250
	8	≥1 ~10 >10 ~25	140 160	160 180	180 200	224 224	250 280
	9	≥1 ~10 >10 ~25	180 224	200 224	224 250	280 280	315 315
	10	≥1 ~10 >10 ~25	200 280	224 280	250 280	280 315	355 355

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
e	3	≥1~10 >10~25	63 63	71 80	90 90	100 100	125 125
	4	≥1~10 >10~25	63 71	80 80	90 90	100 112	125 125
	5	≥1~10 >10~25	80 90	90 100	100 112	112 125	140 140
	6	≥1~10 >10~25	90 100	100 112	112 125	140 140	140 160
	7	≥1~10 >10~25	100 125	125 140	140 140	160 180	180 200
	8	≥1~10 >10~25	125 140	125 160	140 180	180 200	200 224
	9	≥1~10 >10~25	160 200	160 200	180 224	224 250	250 280
	10	≥1~10 >10~25	200 224	200 250	224 280	250 315	280 315

① 为负值。

② 为正值。

2）公法线平均长度公差 T_{Wm} 见表 4-33。

表 4-33　公法线平均长度公差 T_{Wm}

（单位：μm）

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm							
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500
3	≥1~25	14	16	20	25	28	32	32	36
4		14	22	25	28	32	36	45	45
5		20	25	28	32	36	45	50	50
6		25	32	36	45	50	50	63	71
7		28	36	45	50	63	71	71	80
8		36	45	56	63	71	90	90	100
9		45	56	63	80	100	112	112	125
10		56	71	90	100	125	140	140	160

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm						
		>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
3	≥1~25	40	45	50	71	80	100	112
4		50	56	63	80	90	125	140
5		56	71	90	100	112	140	160
6		80	90	100	125	140	180	200
7		90	112	125	140	160	224	250
8		125	140	160	180	200	280	315
9		160	180	200	224	280	355	400
10		180	224	250	280	355	450	500

2. 分度圆弦齿厚的测量（图 4-10）

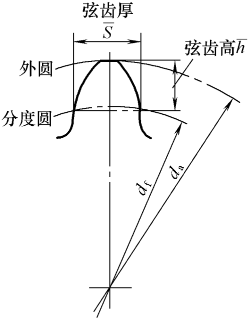


图 4-10　分度圆弦齿厚的测量

（1）计算公式

分度圆弦齿厚

$$\overline{S}=mz\sin\frac{90^\circ}{z}$$

分度圆弦齿高

$$\overline{h}=\frac{m}{2}\left[2+z\left(1-\cos\frac{90^\circ}{z}\right)\right]$$

测量斜齿轮时，应以法向模数 m_n 和当量齿数 z' 来代替公式中的 m 和 z，即

$$z'=\frac{z}{\cos^3\beta}$$

测量圆锥齿轮时，测量位置应取在大头，所以应以大端模数和当量齿数 z' 来代替公式中的 m 和 z，则

$$z' = \frac{z}{\cos\delta}$$

式中　δ——节锥角。

（2）分度圆弦齿厚测量尺寸（表4-34）

表4-34　分度圆弦齿厚测量尺寸表（$m=1$）

（单位：mm）

齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$	齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$
10	1.5643	1.0615	25	1.5697	1.0247
11	1.5655	1.0560	26	1.5698	1.0234
12	1.5663	1.0513	27	1.5698	1.0228
13	1.5669	1.0474	28	1.5699	1.0220
14	1.5675	1.0440	29	1.5700	1.0212
15	1.5679	1.0411	30	1.5701	1.0205
16	1.5683	1.0385	31	1.5701	1.0199
17	1.5686	1.0363	32	1.5702	1.0193
18	1.5688	1.0342	33	1.5702	1.0187
19	1.5690	1.0324	34	1.5702	1.0181
20	1.5692	1.0308	35	1.5703	1.0176
21	1.5693	1.0294	36	1.5703	1.0171
22	1.5694	1.0280	37	1.5703	1.0167
23	1.5695	1.0268	38	1.5703	1.0162
24	1.5696	1.0257	39	1.5704	1.0158

（续）

齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$	齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$
40	1.5704	1.0154	60	1.5706	1.0103
41	1.5704	1.0150	61	1.5706	1.0101
42	1.5704	1.0146	62	1.5706	1.0100
43	1.5704	1.0143	63	1.5706	1.0098
44	1.5705	1.0140	64	1.5706	1.0096
45	1.5705	1.0137	65	1.5706	1.0095
46	1.5705	1.0134	66	1.5706	1.0093
47	1.5705	1.0131	67	1.5706	1.0092
48	1.5705	1.0128	68	1.5706	1.0091
49	1.5705	1.0126	69	1.5706	1.0089
50	1.5705	1.0124	70	1.5706	1.0088
51	1.5705	1.0121	71	1.5707	1.0087
52	1.5706	1.0119	72	1.5707	1.0086
53	1.5706	1.0116	73	1.5707	1.0084
54	1.5706	1.0114	74	1.5707	1.0083
55	1.5706	1.0112	75	1.5707	1.0082
56	1.5706	1.0110	76	1.5707	1.0080
57	1.5706	1.0108	77	1.5707	1.0080
58	1.5706	1.0106	78	1.5707	1.0079
59	1.5706	1.0104	79	1.5707	1.0078

（续）

齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$	齿数 z	弦齿厚 $\bar{S}$	弦齿高 $\bar{h}$
80	1.5707	1.0077	97	1.5707	1.0064
81	1.5707	1.0076	98	1.5707	1.0063
82	1.5707	1.0075	99	1.5707	1.0062
83	1.5707	1.0074			
84	1.5707	1.0073	100	1.5707	1.0062
			105	1.5708	1.0059
85	1.5707	1.0073	110	1.5708	1.0056
86	1.5707	1.0072	115	1.5708	1.0054
87	1.5707	1.0071	120	1.5708	1.0051
88	1.5707	1.0070			
89	1.5707	1.0069	125	1.5708	1.0049
			127	1.5708	1.0048
90	1.5707	1.0069	130	1.5708	1.0047
91	1.5707	1.0068	135	1.5708	1.0046
92	1.5707	1.0067	140	1.5708	1.0044
93	1.5707	1.0066			
94	1.5707	1.0065	145	1.5708	1.0042
			150	1.5708	1.0041
95	1.5707	1.0065	齿条	1.5708	1.0000
96	1.5707	1.0064			

注：1. 测量斜齿轮和锥齿轮时，应按当量齿数 z' 查表。

2. 分度圆弦齿厚的公差可用固定弦齿厚公差（见表 4-36 ~ 表 4-37）代替。

3. 固定弦齿厚的测量(图4-11)

(1) 计算公式

固定弦齿厚

$$\overline{S}=\frac{\pi}{2}\times m_n\cos^2\alpha_n$$

固定弦齿高

$$\overline{h}=h_a-\frac{\pi}{8}\times m_n\sin2\alpha_n$$

式中 m_n——法向模数;

α_n——法向压力角(°);

h_a——齿顶高(mm)。

简化计算公式见表4-35。

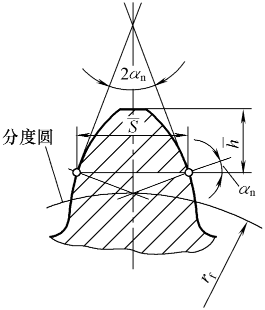


图4-11 固定弦齿厚的测量

表4-35 $\alpha_n=20°$、$14\frac{1°}{2}$时的简化计算公式

α_n	$\overline{S}$	$\overline{h}$
20°	$1.387m_n$	$0.748m_n$
$14\frac{1°}{2}$	$1.472m_n$	$0.810m_n$

例 有一直齿圆柱齿轮,模数 $m=4$mm,压力角 $\alpha=20°$,求固定弦齿厚 $\overline{S}$ 和固定弦齿高 $\overline{h}$。

解 根据上表公式计算得

$$\overline{S}=1.387m_n=4\times1.387\text{mm}=5.548\text{mm}$$

$$\overline{h}=0.748m_n=4\times0.748\text{mm}=2.99\text{mm}$$

(2) 固定弦齿厚测量尺寸(表4-36)

表 4-36　固定弦齿厚测量尺寸表

（单位:mm）

m	$\alpha_n=20°$		m	$\alpha_n=20°$	
	$\bar{S}$	$\bar{h}$		$\bar{S}$	$\bar{h}$
1	1.3871	0.7476	6	8.3223	4.4854
1.25	1.7338	0.9344	6.5	9.0158	4.8592
1.5	2.0806	1.1214	7	9.7093	5.2330
1.75	2.4273	1.3082	7.5	10.4029	5.6068
2	2.7741	1.4951	8	11.0964	5.9806
2.25	3.1209	1.6820	9	12.4834	6.7282
2.5	3.4677	1.8689	10	13.8705	7.4757
2.75	3.8144	2.0558	11	15.2575	8.2233
3	4.1612	2.2427	12	16.6446	8.9709
3.25	4.5079	2.4296	13	18.0316	9.7185
3.5	4.8547	2.6165	14	19.4187	10.4661
3.75	5.2017	2.8034	15	20.8057	11.2137
4	5.5482	2.9903	16	22.1928	11.9612
4.25	5.8950	3.1772	18	24.9669	13.4564
4.5	6.2417	3.3641	20	27.7410	14.9515
4.75	6.5885	3.5510	22	30.5151	16.4467
5	6.9353	3.7379	24	33.2892	17.9419
5.5	7.6288	4.1117	25	34.6762	18.6895

注:测量斜齿轮时,应按法向模数 m_n 查表。测量锥齿轮时,应按大端模数查表。

（3）齿厚上偏差及公差

1）齿厚上偏差 E_{ss} 见表 4-37。

表 4-37　齿厚上偏差 E_{ss}（为负值）

（单位：μm）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250
b	3	≥1~10	63	71	80	100	112
		>10~25	—	—	90	100	112
	4	≥1~10	63	71	90	100	112
		>10~25	—	—	90	100	112
	5	≥1~10	71	80	90	100	112
		>10~25	—	—	100	112	125
	6	≥1~10	71	80	90	112	125
		>10~25	—	—	100	112	125
	7	≥1~10	80	90	100	112	125
		>10~25	—	—	112	125	140
	8	≥1~10	90	100	112	125	140
		>10~25	—	—	125	140	160
	9	≥1~10	100	112	125	140	160
		>10~25	—	—	160	160	160
	10	≥1~10	125	140	160	160	180
		>10~25	—	—	180	200	200

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71
		>10~25	—	—	56	63	71
	4	≥1~10	45	50	56	63	71
		>10~25	—	—	63	71	80
	5	≥1~10	45	56	63	71	80
		>10~25	—	—	71	80	80
	6	≥1~10	50	56	63	71	80
		>10~25	—	—	71	80	90
	7	≥1~10	56	63	71	80	90
		>10~25	—	—	80	90	100
	8	≥1~10	63	71	80	90	100
		>10~25	—	—	100	112	112
	9	≥1~10	80	90	100	112	125
		>10~25	—	—	125	140	140
	10	≥1~10	100	112	125	140	140
		>10~25	—	—	160	160	160

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	28 —	32 —	40 40	45 45	50 50
	4	≥1 ~10 >10 ~25	32 —	36 —	40 45	45 50	50 56
	5	≥1 ~10 >10 ~25	36 —	40 —	45 50	50 56	56 63
	6	≥1 ~10 >10 ~25	40 —	45 —	50 56	56 63	63 71
	7	≥1 ~10 >10 ~25	45 —	50 —	56 63	63 71	71 80
	8	≥1 ~10 >10 ~25	56 —	56 —	63 80	71 90	80 90
	9	≥1 ~10 >10 ~25	71 —	80 —	90 100	90 112	100 125
	10	≥1 ~10 >10 ~25	90 —	100 —	100 140	112 140	125 160

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250
e	3	≥1 ~10 >10 ~25	22 —	25 —	28 32	32 36	36 36
	4	≥1 ~10 >10 ~25	22 —	25 —	28 32	32 36	36 40
	5	≥1 ~10 >10 ~25	28 —	32 —	36 40	40 45	45 50
	6	≥1 ~10 >10 ~25	32 —	36 —	40 45	45 50	45 56
	7	≥1 ~10 >10 ~25	36 —	40 —	45 56	50 63	56 63
	8	≥1 ~10 >10 ~25	45 —	50 —	56 71	63 71	63 80
	9	≥1 ~10 >10 ~25	63 —	71 —	71 100	80 100	90 112
	10	≥1 ~10 >10 ~25	80 —	90 —	90 125	100 125	112 140

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm				
			>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800
b	3	≥1~10	125	125	140	160	180
		>10~25	125	140	140	160	180
	4	≥1~10	125	140	140	160	180
		>10~25	125	140	160	160	180
	5	≥1~10	125	140	160	180	200
		>10~25	140	140	160	180	200
	6	≥1~10	140	140	160	180	200
		>10~25	140	160	160	180	200
	7	≥1~10	140	160	160	180	200
		>10~25	160	160	180	200	224
	8	≥1~10	160	160	180	200	224
		>10~25	160	180	200	200	224
	9	≥1~10	180	180	200	224	250
		>10~25	200	200	224	250	280
	10	≥1~10	200	200	224	250	280
		>10~25	224	250	250	280	315

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
c	3	≥1 ~10 >10 ~25	80 80	90 90	100 100	100 112	125 125
	4	≥1 ~10 >10 ~25	80 90	90 90	100 100	112 112	125 125
	5	≥1 ~10 >10 ~25	90 90	100 100	100 112	112 125	125 140
	6	≥1 ~10 >10 ~25	90 100	100 112	112 112	125 125	140 140
	7	≥1 ~10 >10 ~25	100 112	112 125	125 125	125 140	140 160
	8	≥1 ~10 >10 ~25	112 125	125 140	125 140	140 160	160 180
	9	≥1 ~10 >10 ~25	140 160	140 160	160 180	160 180	180 200
	10	≥1 ~10 >10 ~25	160 180	180 200	180 200	180 224	200 224

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	56 56	56 63	63 63	71 71	80 80
	4	≥1 ~10 >10 ~25	56 63	63 63	63 71	71 80	80 90
	5	≥1 ~10 >10 ~25	63 71	71 71	71 80	80 90	90 100
	6	≥1 ~10 >10 ~25	63 71	71 80	80 80	80 90	90 100
	7	≥1 ~10 >10 ~25	80 90	80 90	90 100	100 112	112 112
	8	≥1 ~10 >10 ~25	90 100	90 100	100 112	112 125	112 125
	9	≥1 ~10 >10 ~25	112 125	112 140	125 140	125 160	140 160
	10	≥1 ~10 >10 ~25	125 160	140 160	140 180	160 180	160 200

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800
e	3	≥1 ~10	40	40	45	50	56
		>10 ~25	40	45	50	56	56
	4	≥1 ~10	40	45	45	50	56
		>10 ~25	45	45	50	56	63
	5	≥1 ~10	45	50	56	63	63
		>10 ~25	50	56	56	63	71
	6	≥1 ~10	50	56	56	63	71
		>10 ~25	56	63	63	71	80
	7	≥1 ~10	63	63	71	80	80
		>10 ~25	71	71	80	90	90
	8	≥1 ~10	71	71	80	90	90
		>10 ~25	80	90	90	100	112
	9	≥1 ~10	90	100	100	112	125
		>10 ~25	112	125	125	125	140
	10	≥1 ~10	112	125	125	140	140
		>10 ~25	140	140	160	160	180

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
b	3	≥1 ~10 >10 ~25	200 200	250 250	280 280	355 355	400 400
	4	≥1 ~10 >10 ~25	200 224	250 250	280 280	355 355	400 400
	5	≥1 ~10 >10 ~25	224 224	250 250	315 315	355 355	400 400
	6	≥1 ~10 >10 ~25	224 224	250 280	315 315	355 355	400 450
	7	≥1 ~10 >10 ~25	250 250	280 280	315 315	400 400	450 450
	8	≥1 ~10 >10 ~25	250 250	280 315	315 355	400 400	450 450
	9	≥1 ~10 >10 ~25	280 315	315 355	355 400	450 450	500 500
	10	≥1 ~10 >10 ~25	315 315	335 335	400 400	450 500	500 560

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
c	3	≥1 ~10 >10 ~25	140 140	160 160	180 180	224 224	250 250
	4	≥1 ~10 >10 ~25	140 140	160 160	180 200	224 224	250 280
	5	≥1 ~10 >10 ~25	140 160	160 180	200 200	224 250	280 280
	6	≥1 ~10 >10 ~25	160 160	180 180	200 200	250 250	280 280
	7	≥1 ~10 >10 ~25	160 180	200 200	224 224	250 280	315 315
	8	≥1 ~10 >10 ~25	180 200	200 224	224 250	280 280	315 315
	9	≥1 ~10 >10 ~25	200 224	224 250	250 280	315 315	355 400
	10	≥1 ~10 >10 ~25	224 250	250 280	280 315	315 355	400 400

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 /mm	分度圆直径/mm				
			>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
d	3	≥1 ~10 >10 ~25	90 90	100 112	125 125	140 140	180 180
	4	≥1 ~10 >10 ~25	90 100	112 112	125 125	140 160	180 180
	5	≥1 ~10 >10 ~25	100 112	112 125	140 140	160 160	200 200
	6	≥1 ~10 >10 ~25	112 112	125 125	140 140	160 180	200 200
	7	≥1 ~10 >10 ~25	125 125	140 140	160 160	180 200	224 224
	8	≥1 ~10 >10 ~25	125 140	140 160	160 180	200 200	224 250
	9	≥1 ~10 >10 ~25	160 180	180 200	200 224	250 250	280 280
	10	≥1 ~10 >10 ~25	180 224	200 224	224 250	250 280	315 315

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm >800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
e	3	≥1~10 >10~25	63 63	71 80	90 90	100 100	125 125
	4	≥1~10 >10~25	63 71	80 80	90 90	100 112	125 125
	5	≥1~10 >10~25	71 80	90 90	100 100	112 125	140 140
	6	≥1~10 >10~25	80 90	90 100	100 112	125 125	140 140
	7	≥1~10 >10~25	90 100	112 112	125 125	140 160	160 180
	8	≥1~10 >10~25	100 112	112 125	125 140	160 160	180 200
	9	≥1~10 >10~25	140 160	140 160	160 180	200 224	224 250
	10	≥1~10 >10~25	160 180	180 200	200 224	224 250	250 280

2）齿厚公差 T_s 见表 4-38。

表 4-38　齿厚公差 T_s　（单位：μm）

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm							
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500
3	≥1~10	20	22	28	32	36	40	40	45
	>10~25	—	—	28	32	36	40	45	50
4	≥1~10	25	32	36	40	45	50	56	56
	>10~25	—	—	40	45	50	50	56	63
5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71
	>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80
6	≥1~10	50	56	63	71	80	80	90	100
	>10~25	—	—	71	80	90	90	100	112
7	≥1~10	63	71	80	90	100	112	112	125
	>10~25	—	—	100	112	112	125	125	140
8	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160
	>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180
9	≥1~10	100	112	125	146	160	180	180	200
	>10~25	—	—	160	160	180	200	200	224
10	≥1~10	125	140	160	180	200	224	224	250
	>10~25	—	—	200	224	224	250	250	280

（续）

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm						
		>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
3	≥1~10 >10~25	50 50	56 56	63 71	80 80	90 90	112 112	125 125
4	≥1~10 >10~25	63 71	71 80	80 90	100 100	112 112	140 140	160 160
5	≥1~10 >10~25	80 90	90 100	112 112	125 125	140 140	180 180	200 200
6	≥1~10 >10~25	112 112	125 125	140 140	160 160	180 200	224 224	250 280
7	≥1~10 >10~25	140 160	160 160	180 180	200 200	224 250	280 280	315 355
8	≥1~10 >10~25	180 180	200 200	224 224	250 250	280 315	355 355	400 400
9	≥1~10 >10~25	224 250	250 280	280 315	315 355	355 400	450 450	500 560
10	≥1~10 >10~25	280 315	315 315	355 355	400 400	450 500	560 560	630 710

第五章　磨 削 加 工

一、磨削加工基础

1. 砂轮安装与修整

（1）砂轮的安装

一般砂轮采用法兰盘安装（图5-1）。安装时应注意以下几点：

1）装夹前应进行音响检查：用绳子将砂轮吊起，轻击砂轮，声音应清脆，没有颤音或杂音。

2）两个法兰盘的直径必须相等，以便砂轮不受弯曲应力而导致破裂。法兰盘的最小直径应不小于砂轮直径的1/3，在没有防护罩的情况下应不小于2/3。

3）砂轮和法兰之间必须放橡胶、毛毡等弹性材料，以增加接触面，使受力均匀。装夹后，经静平衡，砂轮应在最高转速下试转5min后才能正式使用。

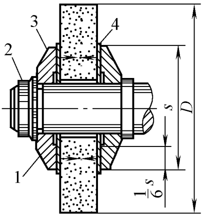


图5-1　用法兰盘安装砂轮

1—铅衬垫　2—螺母
3—法兰盘
4—弹性衬垫

（2）砂轮静平衡调整方法

采用手工操作调整砂轮静平衡时，需使用平衡架

（图 5-2）、平衡心轴（图 5-3）及平衡块、水平仪等工具。

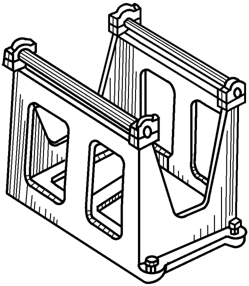


图 5-2　平衡架

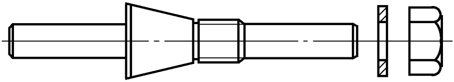


图 5-3　平衡心轴

调整方法（图 5-4）：

1）找出通过砂轮重心的最下位置点 *A*。

2）与 *A* 点在同一直径上的对应点记作 *B*。

3）加入平衡块 *C*，使 *A* 和 *B* 两点位置不变。

4）再加入平衡块 *D*、*E*，仍使 *A* 和 *B* 两点位置不变。如有变动，可上下调整 *D*、*E* 使 *A*、*B* 两点恢复原位。此时砂轮左右已平衡。

5）将砂轮转动 90°。如不平衡，将 *D*、*E* 同时向 *A*

或 *B* 点移动，直到 *A*、*B* 两点平衡为止。

6）如此调整，直至砂轮能在任何方位上稳定下来，砂轮就平衡好了。根据砂轮直径的大小，检查 6 个或 8 个方位即可。

应注意的几点：

1）平衡架要放水平，特别是纵向。

2）将砂轮中的切削液甩净。

3）砂轮要紧固，法兰盘、平衡块要洗净。

4）砂轮法兰盘内锥孔与平衡心轴配合要紧密，心轴不应弯曲。

5）砂轮平衡后，平衡块应紧固。

6）平衡架最好采用刀口式，因与心轴接触面小，反应较灵敏。

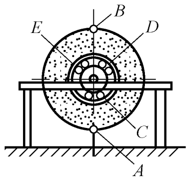


图 5-4　砂轮静平衡调整

（3）修整砂轮

1）修整砂轮的基本原则应根据工件表面精度要求、砂轮性质、工件材料和加工形式等决定砂轮表面修整的粗细及采用的方法。

①　表面精度要求高，砂轮修整得要平细。

②　工件材料硬、接触面大，砂轮修整得要粗糙。

③　粗磨比精磨的砂轮修整得要粗糙。

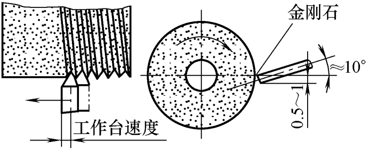
④　横向、纵向进给量大时，砂轮表面要粗糙。

⑤　横向、纵向进给量小时，砂轮表面要平细。

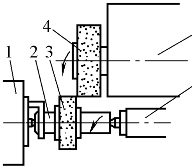
⑥　采用低表面粗糙度值、高精度磨削时，砂轮应适当留有空进给。

2）砂轮修整方法见表 5-1。

表 5-1　砂轮修整方法

修整方法	图　　示	修整工具及适用范围
车削法		1）车削法是最常用的一种砂轮修整方法。多采用单颗粒金刚石工具，其颗粒大小应根据砂轮直径来确定。修整时，金刚石将磨粒打碎，形成切削刃，并使磨粒脱落。适用于粗磨和精磨，能获得较好的修整效果，但天然金刚石价格高，修整工具的消耗大。金刚石锋角应保持70°～80°。安装角度为10°左右 2）车削法修整还可以采用天然金刚石片状修整器、金刚石笔等修整工具。片状修整器有较好的切削性能和较高的寿命，适用于无修磨大金刚石设施的企业。价格较低，货源较多

（续）

修整方法	图　　示	修整工具及适用范围
磨削法	 1—头架　2—心轴　3—碳化硅磨轮 4—砂轮　5—砂轮架　6—尾座	修整工具和砂轮之间的运动类似于外圆磨削。特点是简单而不需增加专用传动装置，修整轮往往采用碳化硅砂轮、硬质合金圆盘、金刚石滚轮等

（4）砂轮修整工具及其选用

修整砂轮多采用金刚石工具，运用车削法进行。

1）单颗粒金刚石。金刚石的顶角一般取 70°～80°为合理，并应经常保持金刚石的锋利性。

金刚石安装的角度一般取为 10°左右（图 5-5），其

安装高度应低于砂轮中心 0.5～1mm。

修整时应浇注充分的切削液，并浇注在整个砂轮的宽度上。

干磨修整砂轮时，修几刀后应停一会，使金刚石得以冷却。

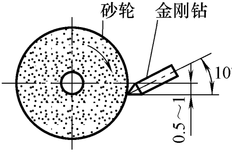


图 5-5　砂轮修整

所用金刚石颗粒的大小，是根据砂轮直径确定的（表 5-2）。

表 5-2　金刚石颗粒大小的选择

砂轮直径/mm	金刚石颗粒大小/ct①
200 以下	0.15～0.25
200～300	0.25～0.35
300～500	0.5～0.75
500～600	1.0～1.25
600～900	1.25～1.75

①　ct 是克拉，1ct＝0.203g。

2）金刚石片状修整器。金刚石片状修整器由小的金刚石颗粒烧结而成。其规格的选用要根据砂轮直径的大小来确定（表 5-3）。

3）金刚石笔。根据形状和结构的不同，金刚石笔又分为 L 型（链状）、C 型（层状）、F 型（粉状）。金刚石笔的选用见表 5-4。

表 5-3　金刚石片状修整器及其选用

磨削方法	砂轮直径/mm	砂轮粒度	金刚石片状修整器型号
外圆磨、平面磨、成形磨、外圆磨靠端面磨等，用于修整阶梯形、曲线	<750 <600 <500	36～60 46～80 细于60	YP_1-30 YP_1-50 YP_1-80
外圆磨、平面磨、外圆磨靠端面磨等	400～900	36～60 46～80 细于60	YP_2-30 YP_2-50 YP_2-80
内圆磨、平面磨等	<350	36～60 46～80 细于60	YT-30 YT-50 YT-80
平面磨及工具磨等修整圆弧	250～600	36～60 46～80 60以细	FP_1-30 FP_1-50 FP_1-80
外圆磨、无心磨等多砂轮磨削及筒形砂轮修整	400～1 400	36～60 46～80 60以细	FP_2-30 FP_2-50 FP_2-80

表 5-4　金刚石笔及其选用

磨削方法		砂轮直径/mm	金刚石笔型号
外圆磨		900～1 100 600～750 300～500 ≤250	L_1、C_1 L_2、C_2、F-10 L_3、C_3、F-8 L_4、C_4
平面磨		300～500 ≤250	L_1、L_2、C_2、F-8 L_3、C_3、F-8
无心磨	磨削轮	300（B≤100） 400～600（B<200） 600（B≥400）	L_3、C_2、C_3、F-8 L_2、F-10 L_1
	导　轮	≤300（B<200） 300～500（B≥250）	L_4、C_4 L_2、L_3、F-8
内圆磨		12～60 70～150 >200	L_4、F-4 L_4、C_4 L_3、L_4、C_4、F-8
磨沟槽 磨槽侧		200 200	L_4、C_3 F-8
齿轮磨		250	L_3、C_4、F-8

（续）

磨削方法		砂轮直径/mm	金刚石笔型号
螺纹磨螺距/mm	0.5	400	F100-4
	0.5~0.8	400	F100-4
	0.8~1.25	400	F80-4
	1.25~2.0	400	F60-4
	2.0~3.0	400	F46-4
	3 以上	400	F36-4

注：*B*—砂轮厚度。

2. 常用磨削液的名称及性能（表 5-5）

表 5-5　常用磨削液的名称及性能

名称	原液组成（质量分数,%）	使用性能
69-1 乳化液	石油磺酸钡　10 磺化蓖麻油　10 油酸　2.4 三乙醇胺　10 氢氧化钾　0.6 L-AN7~10 全损耗系统用油　余量	用于磨削钢与铸铁件 原液配比为 2%~5%

（续）

名称	原液组成（质量分数,%）		使用性能
NL乳化液	石油磺酸钠 蓖麻油酸钠皂 三乙醇胺 苯骈三氨唑 L-AN7 全损耗系统用油	36 19 6 0. 2 余量	乳化剂含量高，低浓度，为浅色透明液 用于磨削黑色及非铁金属 原液配比为 2%~3%
防锈乳化液	石油磺酸钠 石油磺酸钡 环烷酸钠 三乙醇胺 L-AN15 全损耗系统用油	11~12 8~9 12 1 余量	用于磨削黑色金属及光学玻璃，加入 0. 3% 亚硝酸钠及 0. 5% 碳酸钠于已配好的乳化液中，可进一步提高防锈性能 原液配比为 2%~5%
半透明乳化液	石油磺酸钠 三乙醇胺 油酸 乙酸 L-AN15 全损耗系统用油	39. 4 8. 7 16. 7 4. 9 余量	用于精磨，配制时可加 0. 2 的苯乙醇胺 原液配比为 2%~3%

（续）

名称	原液组成（质量分数,%）	使用性能
极压乳化液	防锈甘油络合物（硼酸62份、甘油92份、45%的氢氧化钠65份） 22.4 硫代硫酸钠 9.4 亚硝酸钠 11.7 三乙醇胺 7 聚乙二醇（相对分子质量400） 2.5 碳酸钠 5 水 余量	有良好的润滑和防锈性能，多用于黑色金属的磨削 原液配比为5%~10%
420号磨削液	甘油 0.5 三乙醇胺 0.4 苯甲酸钠 0.5 亚硝酸钠 0.8~1 水 余量	用于高速磨削与缓进给磨削，有时要加消泡剂，如将甘油换为硫化油酸聚氧乙烯醚可提高磨削效果，如换为氯化硬脂酸聚氧乙烯醚适于磨 I_n-738叶片

（续）

名称	原液组成（质量分数,%）	使用性能
3 号高负荷磨削液	硫化油酸 30 三乙醇胺 23.3 非离子型表面活性剂 16.7 硼酸盐 5 水 25 消泡剂（有机硅）另加 2.5/1000[①]	具有良好的清洗、冷却等性能，有较高的极压性（PK 值>2500N） 适用于缓进给强力磨削 原液配比为 1.5%～3%
磨削液	三乙醇胺 17.5 癸二酸 10 聚乙二醇（相对分子质量 400） 10 苯骈三氮唑 2 水 余量	用于磨削黑色金属与有色金属，不能磨铜件，可不加苯骈三氮唑 原液配比为 1%～2%

① 占磨削液的质量分数。

二、外圆磨削

外圆磨削是对工件圆柱形、圆锥形外表面、多台阶轴外表面及旋转体外曲面进行的磨削。外圆磨削一般能达到 *Ra*0.32～1.25μm 的表面粗糙度值，加工公差等级为 IT6～IT7。

1. 工件的装夹

工件的装夹是否正确、稳固、迅速和方便，将直接影响工件的加工精度、表面粗糙度和生产效率。

工件的形状、尺寸、加工要求以及生产条件等具体情况不同，其装夹方法也不同。在外圆磨床上磨削外圆时，工件的装夹方法有以下几种。

（1）前、后顶尖装夹

这种方法的特点是安装方便，定位精度高。装夹时，利用工件两端的中心孔，把工件支承在前顶尖和后顶尖之间，工件由头架的拨盘和拨杆带动夹头旋转（图5-6）。其旋转方向与砂轮的旋转方向相同。磨削加工均采用固定顶尖（俗称死顶尖），它们固定在头架和尾架中，磨削时顶尖不旋转。这样头架主轴的径向圆跳动误差和顶尖本身的同轴度误差就不再对工件的旋转运动产生影响。只要中心孔和顶尖的形状正确，安装得当，就可以使工件磨削的旋转轴线始终固定不变，获得较高的加工精度。

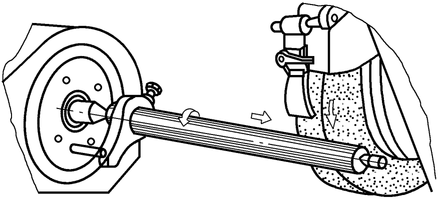
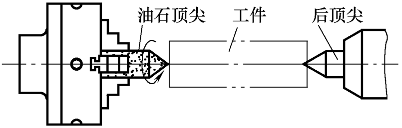


图 5-6　前、后顶尖装夹工件

中心孔修研方法见表 5-6。

表 5-6　中心孔修研方法



方　　法	修研要点
用铸铁顶尖修研	将铸铁顶尖夹在车床卡盘上，将工件顶在铸铁顶尖和尾架顶尖之间研磨。修研时，加研磨剂
用油石或橡胶砂轮修研	方法同上，油石或橡胶砂轮代替铸铁顶尖。修研时加少量润滑剂（如用低运动粘度的 LAN 油）
用成形内圆砂轮修磨	主要用于修研淬火变形和尺寸较大的中心孔。将工件夹在内圆磨床卡盘上，校正外圆后，用成形内圆砂轮修磨
用硬质合金顶尖刮研	在立式中心孔研磨机上，用四棱硬质合金顶尖进行。刮研时，加入氧化铬研磨剂
用中心孔磨床修磨	修磨时，砂轮作行星运动，并沿 30°方向进给。适于修磨淬硬的精密零件中心孔，圆度可达 0.8μm

（2）用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘装夹

1）用三爪自定心卡盘装夹（图 5-7）。三爪自定心

卡盘的三个卡爪是同步运动的。当扳手方榫插入小锥齿轮 2 的方孔 1 内转动时，小锥齿轮 2 就带动大锥齿轮 3 转动。大锥齿轮 3 的背面是一平面螺纹 4，三个卡爪 5 背面的螺纹与平面螺纹啮合，因此当平面螺纹转动时，就带动三个卡爪同时作向心或离心移动。三爪自定心卡盘的三个卡爪背面的平面螺纹起始距离不同，安装时需将卡爪上的号码 1、2、3 和卡盘上的号码 1、2、3 对好，按顺序安装。

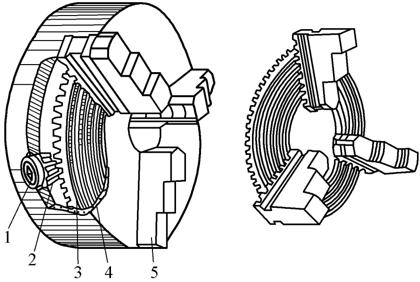


图 5-7　三爪自定心卡盘

1—方孔　2—小锥齿轮　3—大锥齿轮

4—平面螺纹　5—卡爪

三爪自定心卡盘也可装成正爪和反爪，一般卡爪伸出卡盘圆周不超过卡爪长度的 1/3，否则卡爪与平面螺纹只有 1 ~ 2 牙啮合，受力时容易使卡爪上的牙齿碎裂。所以装夹大直径工件时，尽量采用反爪装夹。

三爪自定心卡盘能自动定心，工件装夹后一般不需

找正，但在加工同轴度要求较高的工件时，也需逐件校正。它适用于装夹外形规则的零件，如圆柱形、正三边形、正六边形等零件。

三爪自定心卡盘是通过法兰盘装到磨床主轴上的，法兰盘与卡盘通过“定心阶台”配合，然后用螺钉紧固。法兰盘的结构，根据磨床主轴结构的不同而不同。带有锥柄的法兰盘（图 5-8），其锥柄与主轴前端内锥孔配合，用通过主轴贯穿孔的拉杆拉紧法兰盘。带有内锥孔的法兰盘（图 5-9），其内锥孔与主轴的外圆锥面配

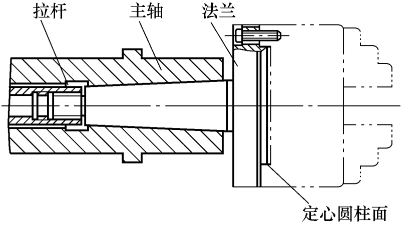


图 5-8　带锥柄的法兰盘

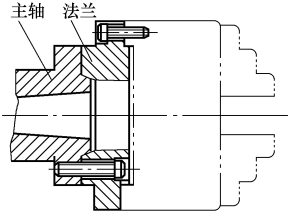


图 5-9　带内锥孔的法兰盘

合,法兰盘用螺钉紧固在主轴前端的法兰上。安装时，需要用指示表检查它的端面圆跳动量，并校正跳动量不大于0.015mm，然后把卡盘安装在法兰盘上。

2）用四爪单动卡盘装夹(图5-10)。由于四爪单动卡盘的四个爪各自独立运动，因此工件装夹时必须将加工部分的旋转轴线找正到与磨床主轴旋转轴线重合后才能磨削。

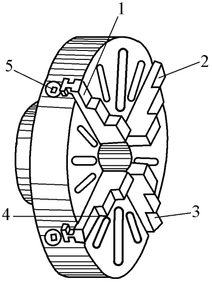


图5-10　四爪单动卡盘

1、2、3、4—卡爪　5—丝杆

四爪单动卡盘的优点是夹紧力大，因此适用于装夹大型或形状不规则的工件。卡爪可装成正爪或反爪使用。

(3）用一夹一顶装夹（图5-11）

是一端用卡盘夹住，另一端用后顶尖顶住的方法。这种方法装夹牢固、安全、刚性好，但应保证磨床主轴的旋转轴线与后顶尖在同一直线上。

(4）用心轴和堵头装夹

磨削中有时会碰到一些套类零件，而且多数要求保证内外圆的同轴度。这时一般都是先将工件内孔磨好，然后再以工件内表面为定位基准磨外圆。这时就需要使用心轴装夹工件。

心轴两端做有中心孔，将心轴装夹在机床前后顶尖中间，工件则夹在心轴外圆上，这样就可以进行外圆磨削。心轴一端也是与磨床头架主轴莫氏锥度相配合的锥

柄，可装夹在磨床头架的主轴锥孔中。

应用心轴和堵头装夹磨削，一定要将工件所需加工的外圆表面及端面全部磨削完成，才能拆卸，绝对不可以在中途松动心轴和堵头，这样将无法保证加工的精度要求。

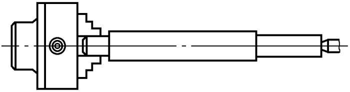


图 5-11　一夹一顶安装工件

1）用台阶式心轴装夹工件（图 5-12）。这种心轴的圆柱部分与零件孔之间保持较小的间隙配合，工件靠螺母压紧，定位精度较低。

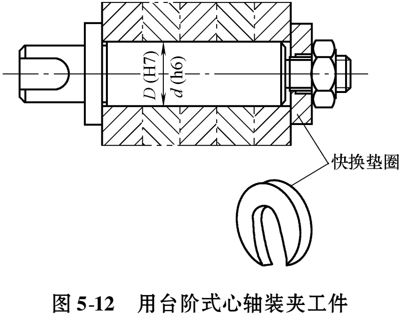


图 5-12　用台阶式心轴装夹工件

2）用小锥度心轴装夹工件（图 5-13）。心轴锥度为 1∶1000～1∶5000。这种心轴制造简单，定位精度高。靠工件装在心轴上所产生的弹性变形来定位并胀紧工件。

缺点是承受的切削力小，装夹不太方便。

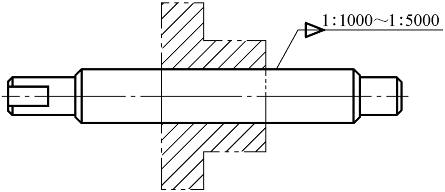


图 5-13　用小锥度心轴装夹工件

3）用胀力心轴装夹工件（图 5-14）。胀力心轴依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件，由于装夹方便，定位精度高，目前使用较广泛。零星工件加工所用胀力心轴可采用铸铁做成。

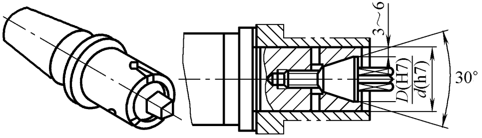


图 5-14　用胀力心轴装夹工件

4）用堵头装夹工件。磨削较长的空心工件，不便使用心轴装夹，这时可在工件两端装上堵头，堵头上有中心孔，可代替心轴装夹工件。如图 5-15 所示，左端的堵头 1 压紧在工件孔中，右端的堵头 2 以圆锥面紧贴在工件锥孔中，堵头上的螺纹供拆卸时用。

图 5-16 是法兰盘式堵头，适用于两端孔径较大的工件。

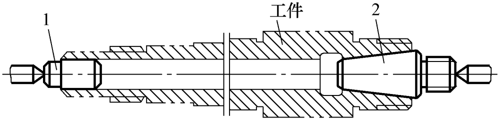


图 5-15　圆柱、圆锥堵头

2. 砂轮的选择

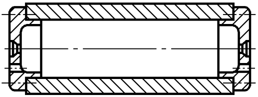


图 5-16　法兰盘式堵头

外圆磨削应根据所加工工件的材料及技术要求，选择适当磨料、粒度、硬度及结合剂的砂轮。一般加工可参考表 5-7 选用。

表 5-7　磨外圆砂轮的选择

加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨　料	粒　度	硬　度	结合剂
未淬火的碳钢及合金钢	粗　磨	A	36～46	M～N	V
	精　磨	A	46～60	M～Q	V
软青铜	粗　磨	C	24～36	K	V
	精　磨	C	46～60	K～M	V
不锈钢	粗　磨	SA	36	M	V
	精　磨	SA	60	L	V
铸　铁	粗　磨	C	24～36	K～L	V
	精　磨	C	60	K	V
纯　铜	粗　磨	C	36～46	K～L	B
	精　磨	WA	60	K	V

（续）

加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨　料	粒　度	硬　度	结合剂
硬青铜	粗　磨 精　磨	WA PA	24～36 46～60	L～M L～P	V V
调质的合金钢	粗　磨 精　磨	WA PA	40～60 60～80	L～M M～P	V V
淬火的碳钢及合金钢	粗　磨 精　磨	WA PA	46～60 60～100	K～M L～N	V V
渗氮钢（38CrMoAlA）	粗　磨 精　磨	PA SA	46～60 60～80	K～N L～M	V V
高速钢	粗　磨 精　磨	WA PA	36～46 60	K～L K～L	V V
硬质合金	粗　磨 精　磨	GC SD	46 100	K K	V B

3. 外圆磨削砂轮速度（表 5-8）

表 5-8　外圆磨削砂轮速度

砂轮速度/（m/s）	陶瓷结合剂砂轮	≤35
	树脂结合剂砂轮	<50

4. 外圆磨削余量的合理选择（表 5-9）

表 5-9　外圆的磨削余量(直径余量)　　　(单位:mm)

工件直径	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前	精磨后研磨前
		未经淬火、回火的轴				经淬火、回火的轴					
		轴的长度									
		100以下	101 ~ 200	201 ~ 400	401 ~ 700	100以下	101 ~ 300	301 ~ 600	601 ~ 1000		
≤10	max	0.20	—	—	—	0.25	—	—	—	0.020	0.008
	min	0.10	—	—	—	0.15	—	—	—	0.015	0.005
11 ~ 18	max	0.25	0.30	—	—	0.30	0.35	—	—	0.025	0.008
	min	0.15	0.20	—	—	0.20	0.25	—	—	0.020	0.006
19 ~ 30	max	0.30	0.35	0.40	—	0.35	0.40	0.45	—	0.030	0.010
	min	0.20	0.25	0.30	—	0.25	0.30	0.35	—	0.025	0.007
31 ~ 50	max	0.30	0.35	0.40	0.45	0.40	0.50	0.55	0.70	0.035	0.010
	min	0.20	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.40	0.50	0.028	0.008

（续）

工件直径	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前	精磨后研磨前
		未经淬火、回火的轴				经淬火、回火的轴					
		轴的长度									
		100以下	101～200	201～400	401～700	100以下	101～300	301～600	601～1000		
51～80	max	0.35	0.40	0.45	0.55	0.45	0.55	0.65	0.75	0.035	0.013
	min	0.20	0.25	0.30	0.35	0.30	0.35	0.45	0.50	0.028	0.008
81～120	max	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.60	0.70	0.80	0.040	0.014
	min	0.25	0.35	0.35	0.40	0.35	0.40	0.45	0.45	0.032	0.010
121～180	max	0.50	0.55	0.60	—	0.60	0.70	0.80	—	0.045	0.016
	min	0.30	0.35	0.40	—	0.40	0.50	0.55	—	0.038	0.012
181～260	max	0.60	0.60	0.65	—	0.70	0.75	0.85	—	0.050	0.020
	min	0.40	0.40	0.45	—	0.50	0.55	0.60	—	0.040	0.015

5. 外圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法（表 5-10）

表 5-10　外圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法

工件缺陷	产生原因及解决方法
表面直波纹	1）砂轮不平衡转动时产生振动。注意保持砂轮平衡：新砂轮需经二次静平衡；砂轮在使用过程出现不平衡，需要作静平衡；砂轮停车前先关掉切削液，让砂轮空转几分钟后再停车 2）砂轮硬度过高或砂轮本身硬度不均匀 3）砂轮用钝后没有及时修整 4）砂轮修得过细或金刚石顶角已磨钝，修出的砂轮不锋利 5）工件转速过高或中心孔有毛刺 6）工件直径、重量过大，不符合机床规格。这时可降低切削用量，增加支承架 7）砂轮主轴轴承磨损，配合间隙过大 8）头架主轴轴承松动 9）电动机不平衡 10）进给导轨磨损 11）机床结合面有松动。检查拨杆、顶尖、套筒等 12）油泵振动 13）传动带长短不均匀 14）砂轮卡盘与主轴锥度接触不好

（续）

工件缺陷		产生原因及解决方法
表面螺旋纹		1）砂轮硬度过高或砂轮两边硬度高，修得过细，而磨削深度过大 2）纵向进给量过大 3）砂轮磨损，母线不直 4）修整砂轮和磨削时切削液供应不足 5）工作台导轨润滑油过多，使台面运行时产生摆动 6）工作台有爬行现象。可打开放气阀排除液压系统中的空气或检修机床 7）砂轮主轴轴向窜动超差 8）砂轮主轴与头尾架轴线不平行 9）修整时金刚石运动中心线与砂轮中心线不平行
表面烧伤		1）砂轮太硬或粒度太细 2）砂轮修得过细、不锋利或砂轮太钝 3）切削用量过大或工件速度过低 4）切削液不充分
圆柱度超差	锥度	1）工件旋转轴线与工作台运动方向不平行 2）工件和机床的弹性变形发生变化。校正锥度时，砂轮一定要锋利，工作过程也要保持砂轮锋利状态 3）工作台导轨润滑油过多

（续）

工件缺陷		产生原因及解决方法
圆柱度超差	鼓形	1）工件刚度差，磨削时产生让刀现象。减少工件的弹性变形；减少磨削深度，增加光磨次数；砂轮经常保持良好的切削性能；应使用中心架 2）中心架调整不适当。正确调整支承块的压力 3）机床导轨水平面内直线度超差
	鞍形	1）磨细长轴时，顶尖顶得太紧，工件弯曲变形，调整尾架顶尖预紧力 2）中心架水平支承块压力过大 3）机床导轨水平面内直线度超差
两端尺寸较小（或较大）		1）砂轮越出工件端面太多（或太少）。正确调整换向撞块，砂轮越出工件端面约为$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{2}$砂轮宽度 2）工作台换向停留时间太长（或太短）
轴肩旁外圆尺寸较大		1）换向时工作台停留时间太短 2）砂轮边角磨损或母线不直
台肩端面圆跳动超差		1）吃刀过大，退刀过快。进刀时要均匀，光磨时间要充分 2）切削液不充分 3）砂轮主轴轴向窜动超差 4）头架主轴推力轴承间隙过大

（续）

工件缺陷	产生原因及解决方法
端面与轴线的垂直度超差	1）砂轮轴线与工件轴线平行度超差 2）砂轮接触面较大。修整砂轮成内凹形，使砂轮接触工件的宽度小于2mm
圆度超差	1）中心孔形状不正确或中心孔内有污垢、毛刺 2）中心孔或顶尖因润滑不良而磨损 3）工件顶得过紧或过松 4）顶尖锥孔接触不好，有松动 5）工件刚度差而毛坯形状误差又大，在磨削时因余量不均匀而引起磨削深度变化，使工件弹性变形发生相应变化，磨削后未能消除原来的全部误差。正确控制磨削用量，进给量应从大到小，并增加光磨行程 6）工件不平衡量过大，在运转时产生跳动，磨削后产生椭圆 7）砂轮主轴与轴承配合间隙过大 8）尾架套筒间隙过大 9）消除横向进给机构螺母间隙的压力太小或没有 10）用卡盘装夹磨削外圆时，头架主轴径向圆跳动过大 11）砂轮过钝

（续）

工件缺陷	产生原因及解决方法
阶梯轴同轴度超差	1）与圆度超差原因（1～4）相同 2）磨削步骤安排不当。各段同轴度要求高的工件，应分粗磨和精磨，同时尽可能在一次装夹中，精磨完毕
拉毛划伤	1）切削液不清洁 2）砂轮硬度太软 3）工件对砂轮磨料不适应

三、内圆磨削

内圆磨削是对工件圆柱孔、圆锥孔、孔端面和特殊形状内孔表面进行的磨削。内圆磨削一般能达到 *R*a0.02～0.01μm 的表面粗糙度值，加工公差等级为 IT6～IT7。

1. 工件的装夹

（1）用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘装夹

内圆磨削用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘装夹工件的方法与外圆磨削基本相同。与其磨床主轴连接所用法兰盘形式也相同。

（2）用花盘装夹

花盘主要用于装夹各种外形比较复杂的工件。通过花盘上的 T 形槽、通孔（或螺孔），将校正后的工件用螺栓、压板紧固在花盘上。在装夹不对称工件时应在花盘上加一配重块，并适当调整它的位置（图 5-17），以使花盘保持平衡。根据加工的需要也可采用花盘与角铁

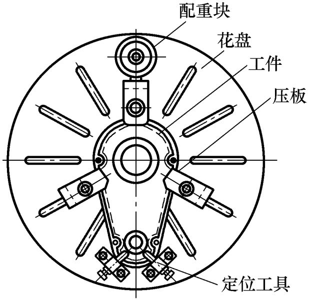


图 5-17　用花盘装夹工件

结合的方法装夹工件（图 5-18）。

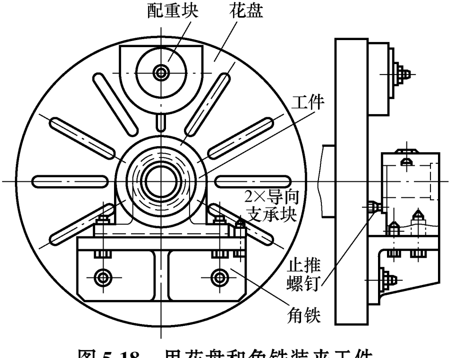


图 5-18　用花盘和角铁装夹工件

（3）用卡盘和中心架装夹（图 5-19）

磨削较长的轴套类工件内孔时，可采用卡盘和中心架装夹工件，以提高工件安装定位的稳定性。中心架则

采用闭式中心架。

1）闭式中心架的结构（图5-20）。闭式中心架由架体1、上盖9和爪8等组成。架体1用L形螺钉2紧固在工作台面上，上盖9与架体1用柱销铰链11连接。磨削时，上盖盖住，并用螺母7和螺钉6加以固定；装卸工件时，拧松螺母7并将螺钉6向外翻转，上盖便可打开。利用捏手3转动螺杆4可调节爪8的位置，爪的支承圆需调整至与卡盘中心一致。

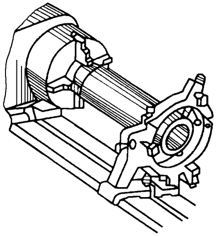


图5-19　用卡盘和中心架装夹工件

2）闭式中心架的调整方法：

①　工件较短而且工件外圆的两端已粗磨或精磨好时，可先将工件夹紧在四爪单动卡盘上，校正工件左右两端的径向圆跳动量在0.005～0.01mm内。这时工件的中心线与头架主轴的中心线已重合，然后调整中心架的三个支承爪，使它们与工件轻轻接触。为了防止中心走动，在调整时，需要用指示表进行测量（图5-21）。调整下面一个支承爪时，指示表要顶在工件外圆的上侧，调整侧面一个支承爪时，指示表顶在支承爪同侧的工件的外圆上。将两个支承爪调整到要求的位置后，把上盖盖好，用上支承爪轻轻支牢工件。三个支承爪都支承工件后，用锁紧螺钉锁紧，调整即结束。

②　工件较长而且工件外圆的两端已粗磨或精磨好时，可采用简便的方法调整中心架，即利用万能磨床的

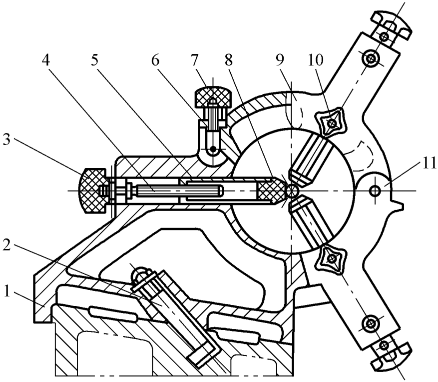


图 5-20　闭式中心架结构

1—架体　2、6—螺钉　3—捏手　4—螺杆　5—支承
7—螺母　8—爪　9—上盖
10—夹紧捏手　11—铰链

尾座进行校正。将工件一端用卡盘夹紧，另一端用后顶尖顶住，然后调整中心架的三个支承爪，使它们轻轻地与工件外圆接触，中心架调好后，从工作台上取下尾座，就可以进行磨削了。

（4）薄壁工件的装夹

1）用开口套装夹工件（图 5-22）。由于开口套与工件的接触面积大，夹紧力均匀地分布在工件上，所以工件不易产生变形，能达到较高的同轴度。

2）用花盘装夹工件（图 5-23）。对于直径较大、尺寸精度和形状位置精度要求较高的薄壁圆盘类工件，可

装夹在花盘上磨削，采用端面压紧方法，工件不易产生变形。

3）用专用夹具装夹工件（图5-24）。依据被加工零件的特点设计制作专用夹具，工件装入夹具体孔中（用外圆和端面定位），用锁紧螺母将工件轴向夹紧，可防止工件变形。

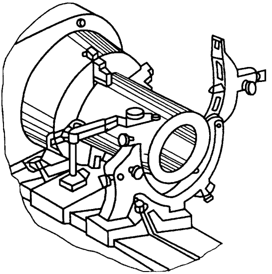


图5-21　调整中心架

2. 内圆磨削砂轮的选择及安装

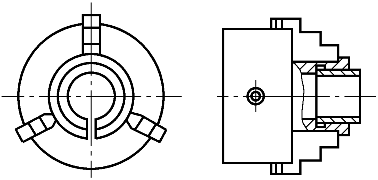


图5-22　用开口套装夹工件

（1）内圆磨削砂轮的选择

内圆磨削时，由于磨径的限制，所用砂轮直径与外圆磨削相比较小，砂轮转速又受到内圆磨具转速的限制（目前一般内圆磨具的转速在10000～20000r/min之间），因此磨削速度一般在20～30m/s之间。由于磨削速度较低，磨削表面粗糙度值不易减小。

内圆磨削时，由于砂轮与工件成内切圆接触，砂轮

与工件的接触弧比外圆磨削大，因此磨削热和磨削力均较大，磨粒容易磨钝，工件容易发热或烧伤。

内圆磨削时，切削液不易进入磨削区域，磨屑也不易排出，影响砂轮磨削性能。

内圆磨削时，砂轮接长轴的刚性比较差，容易产生弯曲变形和振动，对加工精

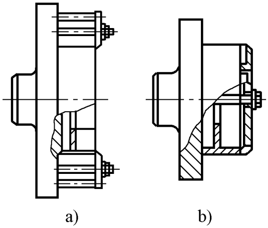


图 5-23　用花盘装夹工件

a）磨内孔　b）磨外圆

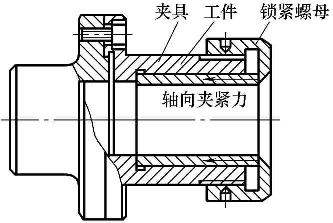


图 5-24　用专用夹具装夹工件

度和表面粗糙度都有很大影响，同时也限制了磨削用量的提高。

综上内圆磨削的基本特点，内圆磨削对砂轮的选择，既要保证有理想的磨削速度，又要保证在磨削中有合理的切削力、切削热及排屑、冷却润滑等。

内圆砂轮的选择可参考表 5-11 选取。

（2）砂轮的安装

表 5-11　磨内圆砂轮的选择

（1）内圆砂轮直径的选择　　　（单位：mm）

被磨孔的直径	砂轮直径	被磨孔的直径	砂轮直径
12～17	10	45～55	40
17～22	15	55～70	50
22～27	20	70～80	65
27～32	25	80～100	75
32～45	30	100～125	85

（2）内圆砂轮宽度的选择　　　（单位：mm）

磨削长度	14	30	45	>50
砂轮宽度	10	25	32	40

（3）内圆砂轮的选择

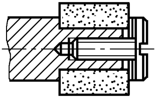
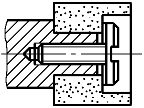
加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨　料	粒　度	硬　度	结合剂
未淬火的碳素钢	粗　磨	A	24～46	K～M	V
	精　磨	A	46～60	K～N	V
铝	粗　磨	C	36	K～L	V
	精　磨	C	60	L	V
铸铁	粗　磨	C	24～36	K～L	V
	精　磨	C	46～60	K～L	V

（续）

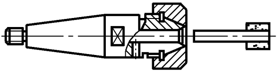
（3）内圆砂轮的选择					
加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨　料	粒　度	硬　度	结合剂
纯铜	粗　磨	A	16～24	K～L	V
	精　磨	A	24	K～M	B
硬青铜	粗　磨	A	16～24	J～K	V
	精　磨	A	24	K～M	V
调质合金钢	粗　磨	A	46	K～L	V
	精　磨	WA	60～80	K～L	V
淬火的碳钢及合金钢	粗　磨	WA	46	K～L	V
	精　磨	PA	60～80	K～L	V
渗氮钢	粗　磨	WA	46	K～L	V
	精　磨	SA	60～80	K～L	V
高速钢	粗　磨	WA	36	K～L	V
	精　磨	PA	24～36	M～N	B

内圆砂轮一般都安装在砂轮接长轴的一端，而接长轴的另一端与磨头主轴联接，也有些磨床的内圆砂轮直接安装在内圆磨床的主轴上。砂轮的紧固方法有螺纹紧固和粘接紧固两种，见表5-12。

表 5-12　磨内孔砂轮的安装

安装方法	图　　示	应注意的问题
用螺纹紧固	 平行砂轮  单面凹砂轮	（1）因螺纹有较大的夹紧力，故可以使砂轮安装得比较牢固 （2）砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当，一般不超过0.2mm （3）砂轮的两个端面必须垫上厚度为0.2～0.3mm的纸片或软性衬垫，这样可以使砂轮受力均匀，紧固可靠 （4）接长轴端面要平整，与砂轮接触面不能太小 （5）紧固螺钉的承压端面与螺纹要垂直。螺钉的螺旋方向应与砂轮旋转方向相反

（续）

安装方法	图　　示	应注意的问题
用粘接剂紧固		（1）ϕ15mm 以下的小砂轮，常用粘接剂紧固 （2）砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当，一般应为 0.2～0.3mm。接长轴外圆表面应粗糙或压成网纹状 （3）常用的粘接剂是用磷酸溶液（H_3PO_4）和氧化铜（CuO）粉末调配而成的一种糊状混合物。粘接时，粘接剂应涂满砂轮与接长轴外圆之间的间隙，待自然干燥或烘干，冷却 5min 左右即可

（3）砂轮接长轴

在内圆磨床或万能外圆磨床上都使用接长轴安装砂轮。常用的接长轴形式见图 5-25。各类接长轴可以按经常被磨孔的孔径和长度配制成不同的规格，以备应用。

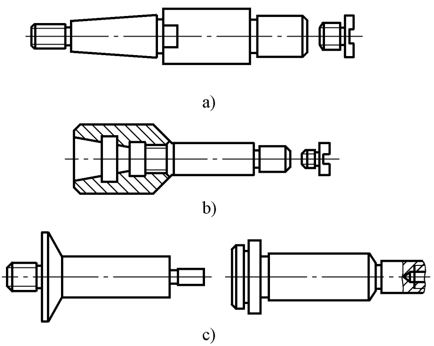


图 5-25　内圆砂轮接长轴

a）锥柄接长轴　b）锥孔接长轴　c）圆柱柄接长轴

接长轴在自行制作时，应注意以下几点：

1）接长轴材料常用 40Cr 钢，为提高其刚性可采用 W18Cr4V 高速钢。

2）保证接长轴上各段外圆与锥面的同轴度。接长轴锥面与磨床主轴锥面的配合精度要高，一般接长轴外锥为莫氏或 1∶20 锥体，其配合面积不小于 85%。

3）接长轴上螺纹旋向应与砂轮旋向相反。

4）在保证加工需要的情况下，为提高刚性，接长轴伸出磨头主轴外的杆身长度，应尽可能短，其直径大小则取决于所用砂轮的尺寸。

5）接长轴上应加工出削扁部位，便于装拆时使用。

（4）内圆砂轮的修整

在内圆磨削过程中，要及时修整砂轮，使砂轮经常保持锋利状态。

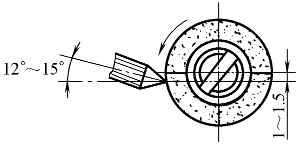


图 5-26　内圆砂轮的修整

内圆砂轮通常用金刚石笔进行修整，修整用的金刚石笔尖必须锋利，笔尖的位置要顺着砂轮的旋转方向向下偏移 1 ~ 1. 5mm，且金刚石笔的轴线要与砂轮的水平中心线成 12° ~ 15°夹角（图 5-26）。

修整直径较小的砂轮，应将主轴缩短，以增强接长轴的刚性，确保修出正确形状的砂轮。

当修整新安装的内圆砂轮时，可先用碳化硅砂轮的碎块对砂轮做粗略的修整，这样可以避免砂轮与接长轴因同轴度误差而引起砂轮跳动，保证砂轮用金刚石笔修整时的平稳性。用砂轮碎块修整时应注意安全操作，砂轮旋转时用点动法。

3. 内圆磨削砂轮速度的选择（表 5-13）

4. 内圆磨削余量的合理选择（表 5-14）

表 5-13　内圆磨削砂轮速度的选择

砂轮直径/mm	<8	9～12	13～18	19～22	23～25	26～30	31～33	34～41	42～49	>50
磨钢、铸铁时的速度/(m/s)	10	14	18	20	21	23	24	26	27	30

表 5-14　内圆的磨削余量　　（单位：mm）

孔径范围	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔长								
		50 以下	50～100	100～200	200～300	50 以下	50～100	100～200	200～300	
≤10	max	—	—	—	—	—	—	—	—	0.020
	min	—	—	—	—	—	—	—	—	0.015
11～18	max	0.22	0.25	—	—	0.25	0.28	—	—	0.030
	min	0.12	0.13	—	—	0.15	0.18	—	—	0.020
19～30	max	0.28	0.28	—	—	0.30	0.30	0.35	—	0.040
	min	0.15	0.15	—	—	0.18	0.22	0.25	—	0.030

（续）

孔径范围	余量限度	磨削前								粗磨后精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔长								
		50 以下	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	50 以下	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	
31 ~ 50	max	0.30	0.30	0.35	—	0.35	0.35	0.40	—	0.050
	min	0.15	0.15	0.20	—	0.20	0.25	0.28	—	0.040
51 ~ 80	max	0.30	0.32	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.50	0.060
	min	0.15	0.18	0.20	0.25	0.25	0.28	0.30	0.35	0.050
81 ~ 120	max	0.37	0.40	0.45	0.50	0.50	0.50	0.55	0.60	0.070
	min	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.40	0.050
121 ~ 180	max	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.080
	min	0.25	0.25	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.060
181 ~ 260	max	0.45	0.48	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.090
	min	0.25	0.28	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.065

注：表中推荐的数据，适合成批生产，要求有完整的工艺装备和合理的工艺规程，可根据具体情况选用。

5. 内圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法（表 5-15）

表 5-15 内圆磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法

<table>
<tr><th colspan="2">工件缺陷</th><th>产生原因和解决方法</th></tr>
<tr><td colspan="2">圆度超差</td><td>1）床头的主轴轴承回转精度超差
2）工件毛坯精度太差，背吃刀量又过大
3）工件装夹有变形
4）工件热变形
5）砂轮切削性能差或不锋利</td></tr>
<tr><td rowspan="2">圆柱度超差</td><td>锥度</td><td>1）工件旋转轴与工作台运动方向不平行
2）工件和砂轮间的弹性变形发生变化。保持砂轮锋利状态
3）砂轮往复行程和换向停留时间选择不当，往复行程应向锥孔小端方向延伸</td></tr>
<tr><td>鼓形或鞍形</td><td>1）工作台在水平方向运动精度不好
2）砂轮往复行程和换向停留时间选择不当。向孔两端加大往复行程能纠正腰鼓形缺陷，向孔两端缩小往复行程能纠正鞍形缺陷</td></tr>
<tr><td colspan="2">表面烧伤</td><td>1）工件和砂轮接触面积太大，冷却不充分
2）其他见表 5-10</td></tr>
<tr><td colspan="2">表面其他缺陷</td><td>与外圆磨削相同（见表 5-10）</td></tr>
</table>

四、圆锥面磨削

1. 圆锥面的磨削方法

磨削圆锥面时，一般要使工件旋转轴线相对于工作台运动方向偏斜一个圆锥半角，即圆锥母线与圆锥轴线

之间的夹角（$\alpha/2$）。这是外圆锥磨削和内圆锥磨削共同的特点。

（1）外圆锥面的磨削

外圆锥面一般在外圆磨床或万能外圆磨床上磨削，根据工件形状和锥（角）度的大小不同，采用不同的方法（见表 5-16）。

（2）内圆锥面的磨削

内圆锥面一般在内圆磨床或万能外圆磨床上磨削。磨内圆锥的原理与磨外圆锥的原理相同，常用的方法见表 5-17。

2. 圆锥面的精度检验

工件在磨削时和加工完成后都要进行精度检验，圆锥面的精度检验包括锥度（或角度）的检验和圆锥尺寸的检验。

锥度或角度的精度通常可用游标万能角度尺、角度样板、正弦规和圆锥量规等量具量仪来测量检验。

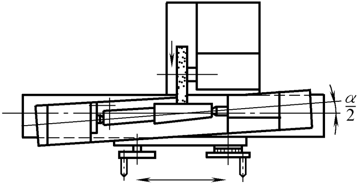
其中圆锥量规（图 5-27）除了有一个精确的圆锥形表面外，在塞规和套规上分别具有一个阶台 a（或刻线 m）。这阶台（或刻线）距离就是检验工件圆锥大端和小端直径的公差范围。

当锥度已磨准确，检验工件时，工件端面在锥度量规阶台（或刻线）之间才算合格，见图 5-28（这种检验方法在工厂俗称综合测量方法）。

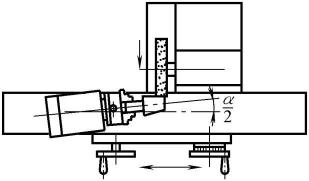
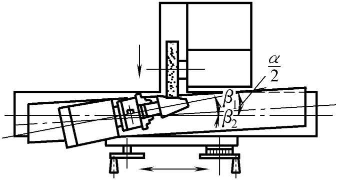
（1）莫氏与公制圆锥量规的形式和尺寸（表 5-18）

（2）精度等级和公差（表 5-19）

表 5-16　外圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图　　示	说　　　明
转动工作台磨外圆锥面		这种方法适用于锥度不大的外圆锥面。磨削时,把工件装夹在两顶尖之间,将上工作台相对下工作台逆时针转过 $\alpha/2$(工件圆锥半角)即可 磨削时,一般采用纵磨法。工作台转动角度时,应按工作台右端标尺上的刻度(标尺右边的刻度为锥度,左边为相应的角度),但按刻度转动角度,并不十分精确,必须经试磨后再进行调整 在顶尖距为 1m 的外圆磨床上,工作台回转角度逆时针一般为 6° ~ 9°,顺时针为 3°。因此,用这种方法只能磨削圆锥角小于 12° ~18°的外圆锥面 这种方法工件装夹简单,机床调整方便,精度容易保证

（续）

磨削方法	图　　示	说　　　明
转动头架磨外圆锥面		当工件的圆锥半角超过上工作台所能回转的角度时,可采用转动头架的方法来磨削外圆锥面。此法是把工件装夹在头架卡盘中,将头架逆时针转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）即可。角度值可从头架下面底座的刻度盘上确定。但是,头架刻度并不十分精确,必须经试磨后再进行调整
同时转动工作台和头架磨外圆锥面		当采用转动头架磨外圆锥面时,有时遇到工件伸出较长,或外圆锥较大,砂轮架已退到极限位置,工件与砂轮相碰不能磨削,如果距离相差又不多时,可采用这种方法,即把上工作台逆时针偏移一个角度 β_2,使头架转动角度比原来小些,这样工件相对就退出了一些。这时头架转动的角度 β_1 跟工作台转过的角度 β_2 之和应等于 $\alpha/2$（工件圆锥半角）

（续）

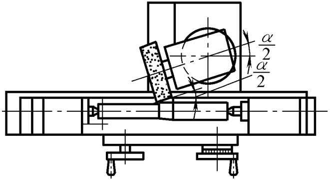
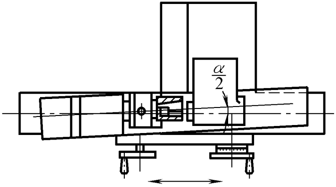
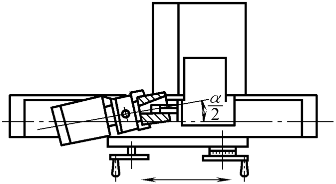
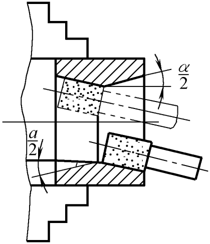
磨削方法	图　　示	说　　　　明
转动砂轮架磨外圆锥面		这种方法适用于磨削锥度较大而又较长的工件。砂轮架应转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角），磨削时必须注意工作台不能作纵向进给，只能用砂轮的横向进给来进行磨削。当工件圆锥母线长度大于砂轮的宽度时，只能用分段接刀的方法进行磨削 修整砂轮时必须将砂轮架转回到“零位”，这样来回调整比较麻烦。而且磨削时工作台不能纵向运动，这样会影响加工精度和表面粗糙度值，所以一般情况下很少采用

表 5-17　内圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图　　示	说　　　明
转动工作台磨内圆锥面		将工作台转过 $\alpha/2$(工件圆锥半角)。工作台作纵向往复运动,砂轮作横向进给 这种方法仅限于磨削圆锥角小于 18°(因受工作台转角的限制)且较长的内圆锥面
转动头架磨内圆锥面		将头架转过 $\alpha/2$(工件圆锥半角)。工作台作纵向往复运动,砂轮作微量横向进给 这种方法适用于锥度较大、长度较短的内圆锥面

（续）

磨削方法	图　　示	说　　　　明
转动头架磨内圆锥面		若工件两端有左右对称的内圆锥时,先把外端内圆锥面磨削正确,不变动头架的角度,将内圆砂轮摇向对面,再磨削里面的一个内圆锥。这样可以保证两内圆锥的同轴度

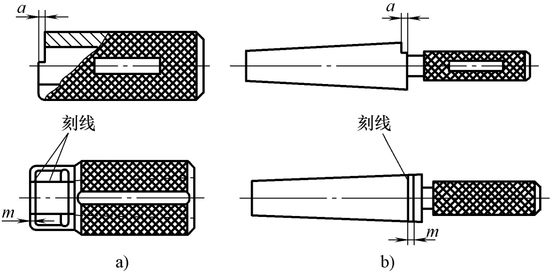


图 5-27　圆锥量规

a）圆锥套规　b）圆锥塞规

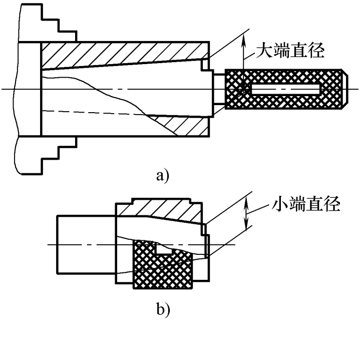
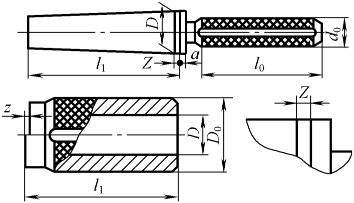


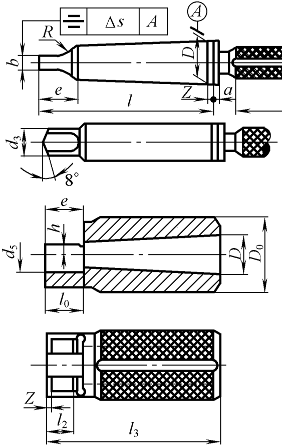
图 5-28　用锥度量规测量

a）测量锥孔　b）测量外锥体

表 5-18　莫氏与公制圆锥量规的形式和尺寸　（单位：mm）



A型(不带扁尾)



B型(不带扁尾)

（续）

莫氏与公制塞规的尺寸															
圆锥规格		锥度 C	锥角 α	基本尺寸										参考尺寸	
				D ±IT5/2	a 不小于	b h8	e 不大于	d_3	l_1 ±IT10/2	l_3	R 不大于	ΔS	Z ±0.05	d_0	l_0
公制圆锥	4	1∶20＝0.05	2°51′51.1″	4	2	—	—	—	23	—	—	—	0.5	7	60
	6			6	3	—	—	—	32	—	—	—	0.5	7	60
莫氏圆锥	0	0.6246∶12＝1∶19.212＝0.052 05	2°58′53.8″	9.045	3	4.05	10.5	6	50	56.5	4	0.012	1	10	60
	1	0.598 58∶12＝1∶20.047＝0.049 88	2°51′26.7″	12.065	3.5	5.35	13.5	8.7	53.5	62	5	0.012	1	12	65
	2	0.599 41∶12＝1∶20.020＝0.049 95	2°51′41.0″	17.780	5	6.46	16	13.5	64	75	6	0.015	1	16	70
	3	0.602 35∶12＝1∶19.922＝0.050 20	2°52′31.5″	23.825	5	8.06	20	18.5	81	94	7	0.015	1	20	80

（续）

圆锥规格		锥度 C	锥角 α	基本尺寸										参考尺寸	
				D ± IT5/2	a 不小于	b h8	e 不大于	d_3	l_1 ± IT10/2	l_3	R 不大于	ΔS	Z ±0.05	d_0	l_0
莫氏圆锥	4	0.623 26∶12 = 1∶19.254 = 0.051 94	2°58′30.6″	31.267	6.5	12.07	24	24.5	102.5	117.5	8	0.020	1.5	25	90
	5	0.631 51∶12 = 1∶19.002 = 0.052 63	3°0′52.4″	44.399	6.5	16.07	29	35.7	129.5	149.5	10	0.020	1.5	32	100
	6	0.625 65∶12 = 1∶19.180 = 0.052 14	2°59′11.7″	63.380	8	19.18	40	51	182	210	13	0.025	2	35	110
公制圆锥	80	1∶20 = 0.05	2°51′51.1″	80	8	26.18	48	67	196	220	24	0.025	2	40	115
	100			100	10	32.19	58	85	232	260	30	0.030	2	40	115
	120			120	12	38.19	68	102	268	300	36	0.030	2	40	115
	160			160	16	50.20	88	138	340	380	48	0.040	3	40	120
	200			200	20	62.22	108	174	412	460	60	0.040	3	40	120

Table title: 莫氏与公制塞规的尺寸

（续）

莫氏与公制环塞的尺寸														
圆锥规格		锥度 C	锥角 α	基本尺寸									参考尺寸	
				D ±IT5/2	h +IT8	l_2 ±IT11/2	l_0 不大于	e 不大于	l_1 ±IT11/2	l_3 −IT10	Z ±0.05	D_0	d_5
公制圆锥	4	1∶20＝0.05	2°51′51.1″	4	—	—	—	—	23	—	0.5	12	—
	6			6	—	—	—	—	32	—	0.5	16	—
莫氏圆锥	0	0.624 6∶12＝1∶19.212＝0.052 05	2°58′53.8″	9.045	2.01	6.5	10.5	10.5	50	56.5	1	20	6.7
	1	0.598 58∶12＝1∶20.047＝0.049 88	2°51′26.7″	12.065	2.66	8.5	13.5	13.5	53.5	62	1	25	9.7
	2	0.599 41∶12＝1∶20.020＝0.049 95	2°51′41.0″	17.780	3.21	10	16	16	64	75	1	35	14.7
	3	0.602 35∶12＝1∶19.922＝0.050 20	2°52′31.5″	23.825	4.01	13	20	20	81	94	1	40	20.2

（续）

莫氏与公制环塞的尺寸

圆锥规格		锥度 C	锥角 α	基本尺寸								参考尺寸	
				D ± IT5/2	h + IT8	l_2 ± IT11/2	l_0 不大于	e 不大于	l_1 ± IT11/2	l_3 − IT10	Z ± 0.05	D_1	d_5
莫氏圆锥	4	0.623 26∶12 = 1∶19.254 = 0.051 94	2°58′30.6″	31.267	6.01	16	24	24	102.5	117.5	1.5	50	26.5
	5	0.631 51∶12 = 1∶19.002 = 0.052 63	3°0′52.4″	44.399	8.01	19	29	29	129.5	149.5	1.5	70	38.2
	6	0.625 65∶12 = 1∶19.180 = 0.052 14	2°59′11.7″	63.380	9.56	27	40	40	182	210	2	92	54.6
公制圆锥	80	1∶20 = 0.05	2°51′51.1″	80	13.06	24	48	48	196	220	2	120	71.5
	100			100	16.06	28	58	58	232	260	2	150	90
	120			120	19.06	32	68	68	268	300	2	180	108.5
	160			160	25.06	40	88	88	340	380	3	240	145.5
	200			200	31.06	48	108	108	412	460	3	300	182.5

表 5-19　莫氏与公制量规精度等级和公差

圆锥工作塞规的精度等级											
圆锥规格		测量长度 L_p	1 级			2 级			3 级		
			AT_{α}		AT_{DP}	AT_{α}		AT_{DP}	AT_{α}		AT_{DP}
		mm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm
公制圆锥	4	19	—	—	—	±40	±8	±0. 8	−200	−41	−4
	6	26	—	—	—	±31. 5	±6	±0. 8	−160	−33	−4
莫氏圆锥	0	43	±10	±2	±0. 5	±25	±5	±1. 0	−125	−26	−5
	1	45	±10	±2	±0. 5	±25	±5	±1. 1	−125	−26	−6
	2	54	±8	±1. 5	±0. 5	±20	±4	±1. 1	−100	−21	−5
	3	69	±8	±1. 5	±0. 6	±20	±4	±1. 4	−100	−21	−7
	4	87	±6. 3	±1. 3	±0. 6	±16	±3	±1. 4	−80	−16	−7
	5	114	±6. 3	±1. 3	±0. 8	±16	±3	±1. 8	−80	−16	−9
	6	162	±5	±1	±0. 8	±12. 5	±2. 5	±2. 0	−63	−13	−10

（续）

圆锥工作塞规的精度等级

圆锥规格		测量长度 L_p	1 级			2 级			3 级		
			AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}
		mm	µrad	(″)	µm	µrad	(″)	µm	µrad	(″)	µm
公制圆锥	80	164	±5	±1	±0.8	±12.5	±2.5	±2.0	−63	−13	−10
	100	192	±5	±1	±1.0	±12.5	±2.5	±2.4	−63	−13	−12
	120	220	±4	±0.8	±0.9	±10	±2.0	±2.2	−50	−10	−11
	160	276	±4	±0.8	±1.1	±10	±2.0	±2.8	−50	−10	−14
	200	332	±3.2	±0.5	±1.1	±8	±1.5	±2.7	−40	−8	−13

圆锥工作环规的精度等级

圆锥规格		测量长度 L_p	1 级			2 级			3 级		
			AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}
		mm	µrad	(″)	µm	µrad	(″)	µm	µrad	(″)	µm
公制圆锥	4	19	—	—	—	±40	±8	±0.8	+200	+41	+4
	6	26	—	—	—	±31.5	±6	±0.8	+160	+33	+4

（续）

圆锥规格		测量长度 L_p	1 级			2 级			3 级		
			AT_{α}		AT_{DP}	AT_{α}		AT_{DP}	AT_{α}		AT_{DP}
		mm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm
莫氏圆锥	0	43	±10	±2	±0.5	±25	±5	±1.0	+125	+26	+5
	1	45	±10	±2	±0.5	±25	±5	±1.1	+125	+26	+6
	2	54	±8	±1.5	±0.5	±20	±4	±1.1	+100	+21	+5
	3	69	±8	±1.5	±0.6	±20	±4	±1.4	+100	+21	+7
	4	87	±6.3	±1.3	±0.6	±16	±3	±1.4	+80	+16	+7
	5	114	±6.3	±1.3	±0.8	±16	±3	±1.8	+80	+16	+9
	6	162	±5	±1	±0.8	±12.5	±2.5	±2.0	+63	+13	+10
公制圆锥	80	164	±5	±1	±0.8	±12.5	±2.5	±2.0	+63	+13	+10
	100	192	±5	±1	±1.0	±12.5	±2.5	±2.4	+63	+13	+12
	120	220	±4	±0.8	±0.9	±10	±2.0	±2.2	+50	+10	+11
	160	276	±4	±0.8	±1.1	±10	±2.0	±2.8	+50	+10	+14
	200	332	±3.2	±0.5	±1.1	±8	±1.5	±2.7	+40	+8	+13

（续）

校对塞规											
圆锥规格		测量长度 L_p	用于 1 级环规			用于 2 级环规			用于 3 级环规		
			AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}
		mm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm
公制圆锥	4	19	—	—	—	+40	+8	+0.8	+100	+21.0	+2.0
	6	26	—	—	—	+31.5	+6	+0.8	+80	+17.0	+2.0
莫氏圆锥	0	43	+10	+2	+0.5	+25	+5	+1.0	+63	+13.0	+2.5
	1	45	+10	+2	+0.5	+25	+5	+1.1	+63	+13.0	+3.0
	2	54	+8	+1.5	+0.5	+20	+4	+1.1	+50	+11.0	+2.5
	3	69	+8	+1.5	+0.6	+20	+4	+1.4	+50	+11.0	+3.5
	4	87	+6.3	+1.3	+0.6	+16	+3	+1.4	+40	+8.0	+3.5
	5	114	+6.3	+1.3	+0.8	+16	+3	+1.8	+40	+8.0	+4.5
	6	162	+5	+1	+0.8	+12.5	+2.5	+2.0	+31.5	+6.0	+5.0

（续）

校对塞规											
圆锥规格		测量长度 L_p	用于 1 级环规			用于 2 级环规			用于 3 级环规		
			AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}	AT_α		AT_{DP}
		mm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm	μrad	(″)	μm
公制圆锥	80	164	+5	+1	+0.8	+12.5	+2.5	+2.0	+31.5	+6.0	+5.0
	100	192	+5	+1	+1.0	+12.5	+2.5	+2.4	+31.5	+6.0	+6.0
	120	220	+4	+0.8	+0.9	+10	+2.0	+2.2	+25	+5.0	+5.5
	160	276	+4	+0.8	+1.1	+10	+2.0	+2.8	+25	+5.0	+7.0
	200	332	+3.2	+0.5	+1.1	+8	+1.5	+2.7	+40	+4.0	+6.5

注：1. 用于检验圆锥锥角和尺寸的莫氏与公制 A 型圆锥量规，规定有三个精度等级。

2. 锥角公差 AT_{DP} 的数值是根据测量长度 L_P 给定的，即

$$AT_{DP} = AT_\alpha \times L_P \times 10^{-3}$$

式中　L_P——测量长度(mm)；

AT_{DP}——对应于测量长度 L_P 上用线值表示的锥角公差(μm)；

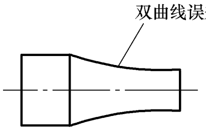
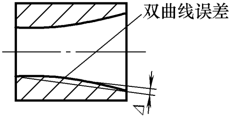
AT_α——用角度值表示的锥角公差(μrad)。

3. 圆锥面磨削产生废品的原因及预防方法(表5-20)

表5-20　圆锥面磨削产生废品的原因及预防方法

废品名称	产生原因	预防方法
锥度不正确	1. 磨削时,因显示剂涂得太厚或用圆锥量规测量时摇晃造成的测量误差。没有将工作台、头架或砂轮架角度调整正确	1. 显示剂应涂得极薄和均匀,圆锥量规测量时不能摇晃,转动角度要在±30°以内。应确实测量准确后,固定工作台、头架或砂轮架的位置再进行磨削
	2. 用磨钝的砂轮磨削时,因弹性变形的影响,使锥度发生变动	2. 经常修整砂轮。精磨时需光磨到火花基本消失为止
	3. 磨削直径小而长的内锥体时,由于砂轮接长轴细长,刚性差,再加上砂轮圆周速度低,切削能力差而引起	3. 砂轮接长轴尽量选得短而粗些;减小砂轮宽度;精磨余量留少些

（续）

废品名称	产生原因	预防方法
圆锥母线不直（双曲线误差）  a）外圆锥  b）内圆锥	由砂轮架（或内圆砂轮轴）的旋转轴线与工件的旋转轴线不等高引起的	修理或调整机床，使砂轮架（或内圆砂轮轴）的旋转轴线与工件的旋转轴线等高

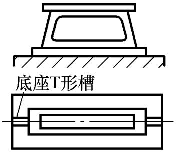
五、平面磨削

在平面磨床上磨削平面，精度一般可达公差等级 IT7 ~ IT6，表面粗糙度为*Ra*

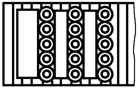
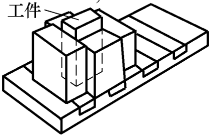
0.63～0.16μm。精密平面磨床，磨削表面粗糙度可达 Ra0.1μm，平行度误差在 1000mm 长度内为 0.01mm。

1. 工件的装夹方法(表 5-21)

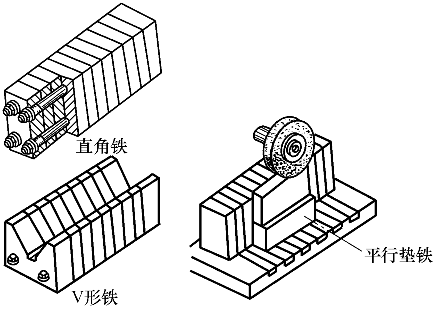
表 5-21　工件的装夹方法

装夹方法	图　　示	说　　明
在磨床台面上装夹		卸去台面上的磁盘，用螺钉把工件固定在台面上进行磨削，这种方法适用于工件较高而被磨平面宽度不大的情况下使用

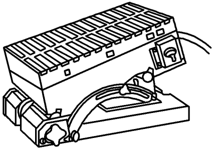
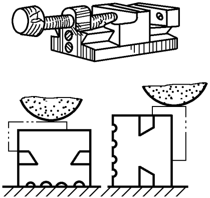
（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用电磁（或永磁）吸盘装夹	 a)  b)	电磁（永磁）吸盘的外形有矩形和圆形两种，分别用于矩形工作台平面磨床和圆形工作台平面磨床。装夹时，工件定位表面应尽可能多地盖住绝缘磁层条，以便充分利用磁性吸力。小而薄的工件（图a）应放在绝缘磁层中间，并在其左右放置低于工件厚度而面积较大的挡板，以防磨削时工件松动 装夹高度较高而定位面积较小的工件时（图b），应在工件四周放上低于工件厚度而面积较大的挡板，以防磨削时工件松动

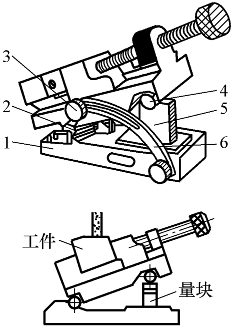
(续)

装夹方法	图　　示	说　　明
用导磁铁装夹	 a)　　b)	导磁铁有直角铁和V形铁两种(图a),这些导磁铁经过精密加工,各面之间垂直度和平行精度都很高 使用时使导磁直角铁的黄铜片与电磁吸盘的绝磁层对齐(图b),电磁吸盘上的磁力线就会延伸到导磁直角铁上。因而当电磁吸盘通电时,导磁直角铁上同样带磁吸住工件。导磁V形铁的结构和使用原理与导磁直角铁相同,它的两个工作表面间的夹角为90°

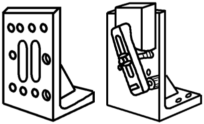
（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用正弦电磁吸盘装夹		正弦电磁吸盘是由带电磁吸盘的正弦规与底座组成的。夹具最大的倾斜角度为45°,适用于磨削扁平的零件
用精密平口钳装夹		精密平口钳上各面之间均具有很高的垂直度或平行度。各面之间的角度为90°±30″。因此,工件一次装夹后,通过翻转精密平口钳,可以磨出互相垂直的基准面。这种方法适用于小型精密工件的磨削

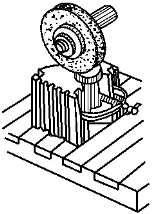
（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用正弦精密平口钳装夹	 1—底座　2、4—正弦圆柱　3—螺钉　5—量块组　6—撑条	正弦精密平口钳是由带精密平口钳的正弦规与底座组成的 将工件夹紧在精密平口钳中，在正弦圆柱 4 和底座 1 的定位面之间垫入量块组 5，使正弦规连同工件一起倾斜成需要的角度。磨削时，正弦圆柱 2 需要用锁紧装置紧固在底座的定位面上，同时旋紧螺钉 3，以便通过撑条 6 把正弦规紧固。这种夹具最大的倾斜角度为 45°

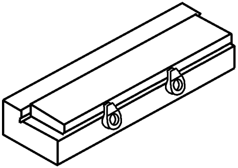
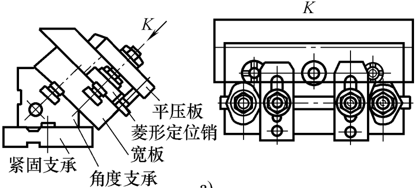
（续）

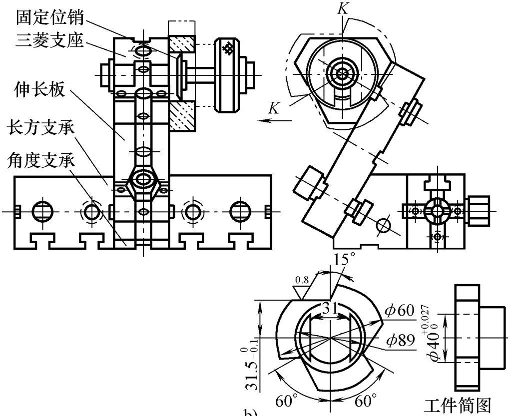
装夹方法	图　　示	说　　明
用精密角铁装夹		精密角铁由铸铁制成，角铁上两相互垂直的工作平面经过刮研加工，它们之间的垂直度误差很小，工作平面上有 T 形槽或通孔，用来装螺钉夹紧工件 工件装夹在精密角铁上通过校正可以磨削各种斜面和垂直平面

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用精密V形铁装夹		精密V形铁由V形铁、弓架、夹紧螺钉组成。V形铁的侧面、端面与底面相互垂直。V形槽用标准圆柱心轴检验时，其轴线也垂直于V形铁的端面，所以能保证圆柱体端面与外圆垂直 磨削圆柱形工件的端面及相互垂直的平面时，可采用这种方法装夹工件

（续）

装夹方法	图　　示	说　　明
用专用夹具		此例是采用侧面压紧磨削长条薄形工件。由于工件侧面宽度方向刚度大，工件不会产生夹紧变形
用组合夹具装夹	 a)	图 a 是由组合夹具角度支承组成的磨斜平面夹具

装夹方法	图　　示	说　　明
用组合夹具装夹	b)	图 b 是由角度支承和三菱支座组成的磨三等分平面的夹具

2. 平面磨削砂轮的选择（表5-22）

表5-22　平面磨削砂轮的选择

工件材料		非淬火的碳素钢	调质的合金钢	淬火的碳素钢、合金钢	铸　铁
砂轮的特性	磨料	A	A	WA	C
	粒度	36～46	36～46	36～46	36～46
	硬度	L～N	K～M	J～K	K～M
	组织	5～6	5～6	5～6	5～6
	结合剂	V	V	V	V

3. 平面磨削砂轮速度的选择（表5-23）

表5-23　平面磨削砂轮速度的选择

磨削形式	工件材料	粗磨/（m/s）	精磨/（m/s）
圆周磨削	灰铸铁	20～22	22～25
	钢	22～25	25～30
端面磨削	灰铸铁	15～18	18～20
	钢	18～20	20～25

4. 平面磨削余量的合理选择（表5-24）

5. 平面磨削常见的工件缺陷、产生原因及解决方法（表5-25）

表 5-24　平面的磨削余量

（单位：mm）

<table>
<tr><th rowspan="3">加工性质</th><th rowspan="3">加工面长度</th><th colspan="6">加工面宽度</th></tr>
<tr><th colspan="2">≤100</th><th colspan="2">>100～300</th><th colspan="2">>300～1000</th></tr>
<tr><th>余量</th><th>公差</th><th>余量</th><th>公差</th><th>余量</th><th>公差</th></tr>
<tr><td rowspan="3">零件在装置时未经校准</td><td>≤300</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.4</td><td>0.12</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>>300～1000</td><td>0.4</td><td>0.12</td><td>0.5</td><td>0.15</td><td>0.6</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>>1000～2000</td><td>0.5</td><td>0.15</td><td>0.6</td><td>0.15</td><td>0.7</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td rowspan="3">零件装置在夹具中或用指示表校准</td><td>≤300</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.25</td><td>0.12</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>>300～1000</td><td>0.25</td><td>0.12</td><td>0.3</td><td>0.15</td><td>0.4</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>>1000～2000</td><td>0.3</td><td>0.15</td><td>0.4</td><td>0.15</td><td>0.4</td><td>0.15</td></tr>
</table>

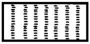
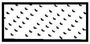
注：1. 表中数值为每一加工面的加工余量。

2. 如果几个零件同时加工，长度及宽度为装置在一起的各零件尺寸（长度或宽度）及各零件间的间隙之总和。

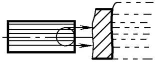
3. 热处理零件磨削的加工余量是将表中数值乘以1.2。

4. 磨削的加工余量和公差用于有公差的表面加工，其他尺寸按照自由尺寸的公差进行加工。

表 5-25　平面磨削常见的工件缺陷、产生原因和解决方法

工件缺陷	产生原因和解决方法
表面波纹  a) 直波纹 b) 两边直波纹 c) 菱形波纹  d) 花波纹	1）磨头系统刚性不足 2）塞铁间隙过大 3）主轴轴承间隙过大 4）主轴部件动平衡不好 5）砂轮不平衡 6）砂轮过硬，组织不均，磨钝 7）电动机定子间隙不均匀 8）砂轮卡盘锥孔配合不好 9）工作台换向冲击，易出现两边或一边的波纹；工作台换向一定时间与砂轮每转一定时间之比不为整倍数时，易出现菱形波纹 10）液压系统振动 11）垂直进给量过大及外源振动 消除措施： 根据波距和工作台速度算出它的频率，然后对照机床上可能产生该频率的部件，采取相应的措施加以消除

（续）

工件缺陷	产生原因和解决方法
线性划伤	工件表面留有磨屑或细砂，当砂轮进入磨削区后，带着磨屑和细砂一起滑移而引起。调整好切削液喷嘴，加大切削液流量，使工件表面保持清洁
表面接刀痕 	砂轮母线不直，垂直和横向进给量过大 机床应在热平衡状态下修整砂轮，金刚石位置放在工作台面上

六、刀具刃磨

1. 工具磨床主要附件及其应用（表 5-26）

2. 刀具刃磨的砂轮选择

（1）刀具刃磨时砂轮参数的选择（表 5-27）

（2）刃磨一般刀具时砂轮形状与外径的选择（表 5-28）

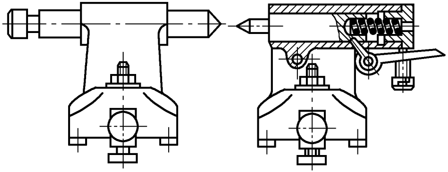
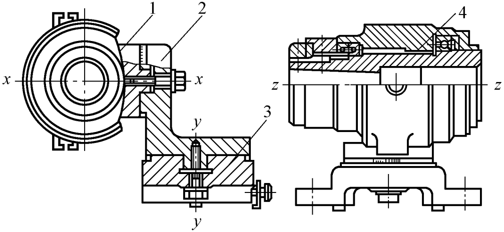
3. 砂轮和支片安装位置的确定（表 5-29）

4. 刀具刃磨实例

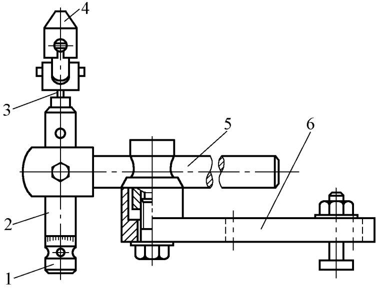
（1）铣刀刃磨（表 5-30）

（2）拉刀刃磨（表 5-31）

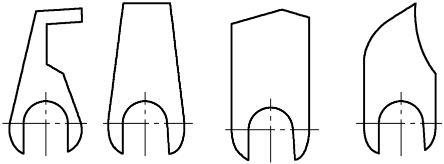
表 5-26　工具磨床主要附件及其应用

名称	图　　示	用途说明
顶尖座	 a) 前顶尖座　　b) 后顶尖座	前后顶尖座用螺钉固定在工作台上，用来装夹刀具
万能夹头	 1—夹头体　2—角架　3—底座　4—主轴	万能夹头的夹头体 1 可在角架 2 上绕 $x-x$ 轴线回转 360°；角架可绕 $y-y$ 轴线回转 360°；装夹工件的主轴 4 能绕 $z-z$ 轴线回转 360°。夹头体的主轴锥孔的锥度为 7∶24，用来装夹各种心轴 万能夹头主要用来装夹端铣刀、立铣刀、三面刃铣刀等，以刃磨其端齿

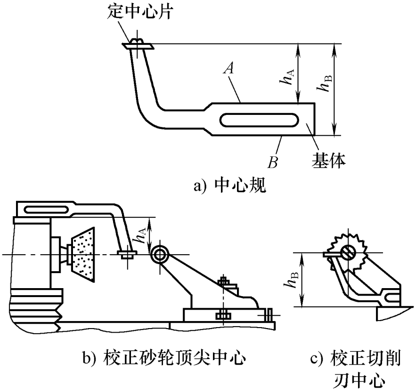
（续）

名称	图　　示	用途说明
万能齿托架	 1—捏手　2—杆　3—螺杆 4—齿托片　5、6—支架	万能齿托架的用途是使刀具刀齿相对于砂轮处于正确的位置，以确保刀磨出正确的角度

（续）

名称	图　　示	用途说明
齿托片	 a) 直齿齿托片　b) 斜齿齿托片　c) 圆弧齿托片	直齿齿托片，适用于刃磨直槽尖齿刀具，如锯齿铣刀、角度铣刀等 斜齿齿托片，适用于刃磨各种错齿三面刃铣刀等 圆弧齿托片，适用于刃磨各种螺旋槽刀具，如圆柱形铣刀、锥柄立铣刀等

（续）

名称	图　　示	用途说明
中心规	 a) 中心规 b) 校正砂轮顶尖中心 c) 校正切削刃中心	中心规（图 a）是用来确定砂轮或顶尖中心高度的工具 当中心规的 A 面贴住磨头顶面时（图 b），定中心片所指高度即为砂轮中心高 h_A（即头架顶面至砂轮轴线的距离） 当中心规的 B 面放在磨床工作台时（图 c），定中心片所指高度 h_B 即为前、后顶尖的中心高度

（续）

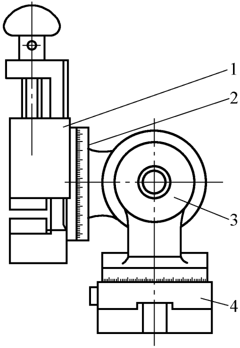
名称	图　　示	用途说明
可倾虎钳	 1—虎钳　2、3—转体　4—底盘	可倾虎钳常用来装夹块、条形刀具（如车刀、平面拉刀等）。虎钳安装在转体 3 和 2 上，分别可以绕 $x-x$ 轴、$y-y$ 轴、$z-z$ 轴旋转，以刃磨所需要的角度

表 5-27　刀具刃磨时砂轮参数的选择

刀具名称	刃磨部位	刀具材料	选用砂轮的参数
铰刀	磨前面	高速钢	WAF60 ~ F80J ~ KV
		硬质合金	GCF100 ~ F120H ~ JV
	磨前锥刃和圆周刃后角	高速钢	WAF60 ~ F80J ~ KV
		硬质合金	GCF100H ~ JV
立铣刀	磨圆周齿及端面齿前面	高速钢	WAF80 ~ F120J ~ KV
		硬质合金	GCF80 ~ F120J ~ KV
	磨圆周齿及端面齿后面	高速钢	WAF80J ~ KV
		硬质合金	GCF100 ~ F120HV
圆柱形铣刀	磨前面、后面	高速钢	WAF60 ~ F70KV
套式面铣刀	磨圆周刃、端面刃和主切削刃后角	高速钢	WAF46H ~ JV
		硬质合金	GCF100HV

（续）

刀具名称	刃磨部位	刀具材料	选用砂轮的参数
三面刃铣刀	磨圆周齿前面	高速钢	WAF60～F80H～JV
		硬质合金	GCF100H～JV
	磨端面齿后角、副偏角和圆周齿后角	高速钢	WAF60～F80J～KV
		硬质合金	GCF100H～JV
镶硬质合金的三面刃铣刀	磨圆周齿、端面齿后角、端面齿副偏角和45°过渡刃	硬质合金	GCF46H～JV
切口铣刀和细齿锯片铣刀	磨前面和后面	高速钢	WAF46～F80KV
		硬质合金	GCF100～F120HV
镶齿圆锯片	磨前面和后面	高速钢	WAF46～F70J～KV
角度铣刀	磨斜面刃前角和后角	高速钢	WAF60～F80K～LA
齿轮滚刀	磨前面（模数7～30铲齿）	高速钢	WAF46HV
	磨前面（模数大于10）	高速钢	WAF60～F70HV
	磨前面（模数大于1）	硬质合金	金刚石砂轮

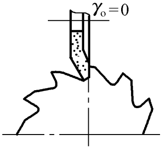
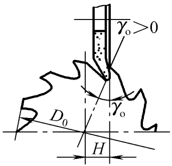
（续）

刀具名称	刀磨部位	刀具材料	选用砂轮的参数
插齿刀	粗、精磨前面	高速钢	WAF60～F80H～KV～B
	磨后面		WAF80～F100J～KV
齿轮铣刀	磨前面（模数小于1）	高速钢	WAF80KV
	磨前面（模数大于1）		WAF46～F70H～JV
圆拉刀	磨后面	高速钢	WAF60～F70J～LV
	粗磨前面		WAF60～F80J～KV
	精磨后面		GCF150K～LB
花键拉刀	粗磨前面	高速钢	WAF60～F80J～KV
	精磨前面		GCF150K～LB
键槽拉刀	粗磨前面	高速钢	WAF60～F70KV
	精磨前面		GCF120JB

表 5-28　刃磨一般刀具时砂轮形状与外径的选择

刃磨部位	形状与外径	刃磨范围	说　　明
刃磨前面	小角度单斜边砂轮(PDX) 碟形一号砂轮(D_1) 外径为150mm	用于各种铲齿刀具、铰刀、立铣刀、面铣刀、角度铣刀、槽铣刀、圆柱形铣刀、拉刀、三面刃铣刀等	1）当磨不到槽根时应改用外径为50~75mm的小砂轮 2）刃磨螺旋槽或斜槽刀具的前角，应在砂轮斜面上磨削 3）刃磨直槽刀具的前角，在砂轮的斜面或平面上磨削都可以
	平形砂轮(P)	用于刃磨车刀、钻头、插齿刀等	在刃磨插齿刀前面时，砂轮的直径要小于前面锥形的曲率半径
刃磨后面	碗形砂轮(BW) 杯形砂轮(B) 外径为75~125mm	用于各种铰刀、立铣刀、面铣刀、T形槽铣刀、镶齿铣刀、圆柱形铣刀、三面刃铣刀等	磨削细齿刀具时，砂轮外径应减小至100mm以内，并需把砂轮外径调整到刀具的中心线以下，否则会发生磨坏邻齿的情况

表 5-29　砂轮和支片安装位置的确定

磨削方式	砂轮形状	图　示	说　明
前角的刃磨	碟形砂轮		刃磨前角 $\gamma_o=0°$ 时，砂轮平面的延长线应通过刀具中心
			刃磨前角 $\gamma_o>0°$ 时，砂轮平面应偏移刀具轴线一距离 H $H=\frac{D_0(\text{铣刀直径})}{2}\sin\gamma_o$

（续）

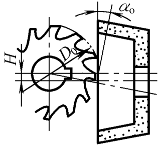
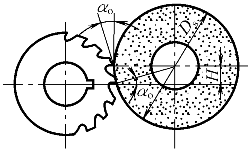
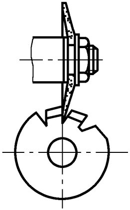
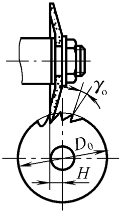
磨削方式	砂轮形状	图　　示	说　　明
后角的刃磨	杯形或碟形砂轮		支片顶端相对刀具中心应下降 H 值 $$H=\frac{D_0(\text{铣刀直径})}{2}\sin\alpha_o$$ 或 $H=0.087D_0$ 式中　α_o—刀具后角
	平形砂轮		砂轮轴线应高于刀具轴线 H 值 $$H=\frac{D_s(\text{砂轮直径})}{2}\sin\alpha_o$$ 式中　α_o—刀具后角

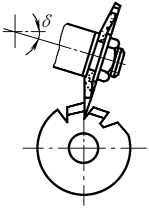
表 5-30　铣刀刃磨

刃磨部位	图　　示	说　　明
前面		1）用于磨削前角 $\gamma_o=0°$ 的直齿三面刃铣刀及铲齿成形铣刀等 2）磨削时砂轮平面通过铣刀轴线

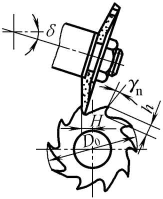
（续）

刃磨部位	图　示	说　明
前面		1）用于磨削前角 $\gamma_o>0°$ 的直齿三面刃铣刀、槽铣刀及角度铣刀等 2）磨削时，砂轮平面偏离铣刀轴线一个距离 H $$H=\frac{D_0}{2}\sin\gamma_o$$ 式中　D_0—铣刀外径（mm） γ_o—铣刀刀齿前角（°）

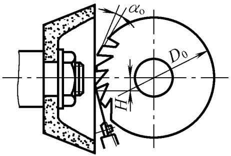
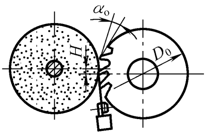
（续）

刃磨部位	图　　示	说　　明
前 面		1）用于磨削法向前角 $\gamma_n = 0°$ 的斜齿（或螺旋齿）铣刀 2）磨削时砂轮斜面的延长线应通过铣刀轴线 3）砂轮轴线自水平面向下扳一个等于砂轮斜角 δ 的倾角 4）砂轮轴线在水平面回转一个 ψ 角，使砂轮的磨削平面平行于刀齿前刀面 $\psi = \beta$ 式中　β—铣刀的斜角（或螺旋角）

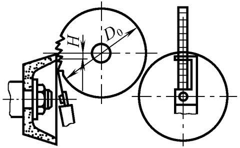
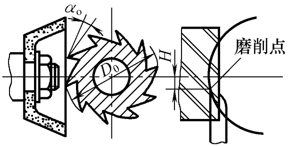
（续）

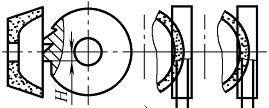
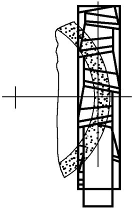
刃磨部位	图　　示	说　　明
前 面		1）用于磨削法向前角 $\gamma_n>0°$ 的斜齿或螺旋齿铣刀 2）磨削时砂轮轴线在水平面向下扳一个等于砂轮斜角的倾角 δ，并回转一个 ψ 角，其大小等于刀齿的螺旋角 β 3）砂轮斜面的磨削平面偏离铣刀中心一个距离 H $H=\frac{D_0}{2}\frac{1}{\cos^2\beta}\sin(\delta+\gamma_n)-h\sin\delta$ 式中　D_0—铣刀直径（mm） β—铣刀斜角（或螺旋角）（°） δ—砂轮斜角（°） γ_n—铣刀法向前角（°） h—铣刀刀齿高度

（续）

刃磨部位	图　　示	说　　明
后面	 α_o—后角	1）用于磨削粗齿直齿铣刀 2）用碗形（或杯形）砂轮的端面进行磨削 3）砂轮与铣刀在同一轴线上 4）支片低于铣刀轴线高度 H
		1）用于磨削粗齿直齿铣刀 2）用平行砂轮外圆进行磨削 3）砂轮轴线高于铣刀轴线 H 4）支片支撑在铣刀轴线高度上

（续）

<table>
<tr><th>刃磨部位</th><th>图　示</th><th>说　明</th></tr>
<tr><td rowspan="2">后面</td><td>
</td><td>1）用于磨削细齿直齿铣刀
2）用碗形砂轮端面进行磨削
3）砂轮轴线低于铣刀轴线，并使砂轮外径接近铣刀刀齿后面
4）采用细齿支片，使支片低于铣刀轴线高度 H</td></tr>
<tr><td>
</td><td>1）用于斜齿（或螺旋齿）铣刀磨削
2）用碗形（或杯形）砂轮端面进行磨削
3）支片低于铣刀轴线高度 H，并支于砂轮的磨削点下面（采用斜支片或螺旋支片）
4）磨削时，铣刀在轴向移动的同时，连续旋转（使支片紧靠于前刀面上）</td></tr>
</table>

刃磨部位	图　　示	说　　明
后 面	 a)  b)	1）用于磨削错齿（或镶齿）三面刃铣刀 2）砂轮与铣刀在同一轴线上 3）支片低于铣刀轴线高度 H，并支于砂轮磨削下面（用斜支片） 4）磨削时，前刀面紧靠于支片上，铣刀在轴向移动的同时，按斜槽方向旋转 5）左右方向刀齿分两次磨削，磨完一个方向的齿，更换支片再磨另一方向的齿（图 a） 6）左右方向刀齿同时磨削时，采用双向斜支片，使支片的最高点位于左右向刀齿的中点（图 b）

（续）

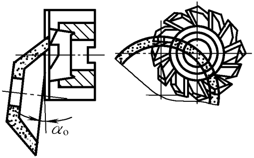
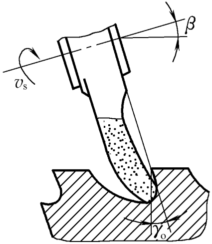
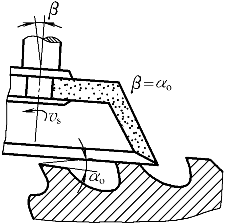
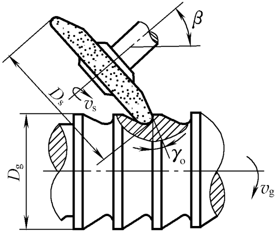
刃磨部位	图　　示	说　　明
后 面		1）用于立铣刀、三面刃铣刀、端面铣刀端面刃的磨削 2）用碗形砂轮端面进行磨削 3）铣刀齿端面刃处于水平位置 4）砂轮轴线低于铣刀轴线，砂轮的磨削平面（端面）在垂直平面倾斜一个 α_o 角 5）当铣刀端面齿有 Kr' 角时，铣刀轴线在水平内应转一个 Kr' 角

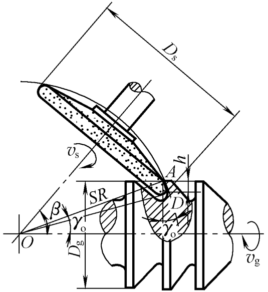
表 5-31　拉刀刃磨

<table>
<tr><th>刃磨部位</th><th>图　　示</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td>平面拉刀前面</td><td>
</td><td rowspan="2">1）采用碟形砂轮的端面刃磨前面
2）砂轮轴线的倾斜角 β 等于平面拉刀齿前角 γ_o
3）用碗形砂轮刃磨平面拉刀后面时，磨头倾斜角等于平面拉刀后角 α_o</td></tr>
<tr><td>平面拉刀后面</td><td>
</td></tr>
</table>

（续）

刃磨部位	图　　示	说　　明
圆拉刀前面	 用直线锥面磨削法刃磨圆拉刀	用直线锥面砂轮刃磨出的前面，表面粗糙度较高，拉削效果和质量较差。因方法简便，目前仍被采用 其砂轮最大直径的计算如下： $$D_s = \frac{D_g \sin(\beta - \gamma_o)}{\sin\gamma_o}$$ 式中　D_s—允许选择的砂轮最大直径（mm）； D_g—拉刀第一齿的外径（mm）； β—磨头倾斜角（即砂轮的安装角）； γ_o—拉刀齿前角

（续）

刃磨部位	图　　示	说　　明
圆拉刀前面	 用弧线球面磨削法刃磨圆拉刀	用弧线球面砂轮刃磨出的前刀面，刃口锋利，有利卷屑，拉削效果和质量较好 其砂轮最大直径的计算如下： $D_s = 1.05\sin\beta[D_g \text{ctg}\gamma_o + 2h\tan\gamma_o - \cot\beta(D_g - 2h)]$ 式中　D_s—允许选择的砂轮最大直径（mm）； D_g—拉刀第一齿的外径（mm）； β—磨头倾斜角； γ_o—拉刀齿前角； h—拉刀齿前刀面与槽底 r 的切点 D 到刀齿外径上一点 A 的垂直距离（一般可按图样要求选择）

七、普通磨料磨具

1. 磨料的品种、代号及其应用范围(表 5-32)

表 5-32　磨料品种、代号及其应用范围(GB/T 2476—1994)

种类	名　称	代　号	特　性	应用范围
刚玉类	棕刚玉	A	呈棕褐色,硬度较高,韧性较大,价格相对较低	适于磨削抗拉强度较高的金属材料,如碳钢、合金钢、可锻铸铁及硬青铜等
	白刚玉	WA	呈白色,硬度比棕刚玉高,韧性较棕刚玉低,易破碎,棱角锋利	适于磨削淬火钢、合金钢、高碳钢、高速钢以及加工螺纹及薄壁件等
	单晶刚玉	SA	呈淡黄或白色,单颗粒球状晶体,强度与韧性均比棕刚玉、白刚玉高,具有良好的多棱多角的切削刃,切削能力较强	适于磨削不锈钢、高钒钢、高速钢等高硬、高韧性材料,以及易变形、烧伤的工件,也适用于高速磨削和低表面粗糙度值磨削

（续）

种类	名　称	代　号	特　性	应用范围
刚玉类	微晶刚玉	MA	呈棕黑色，磨粒由许多微小晶体组成，韧性大，强度高，工作时呈微刃破碎，自锐性能好	适于磨削不锈钢、轴承钢、特种球墨铸铁等较难磨削的材料，也适于成形磨、切入磨、高速磨及镜面磨等精加工
	铬刚玉	PA	呈玫瑰红或紫红色，韧性高于白刚玉，效率高，加工后工件表面粗糙度值较低	适于刀具、量具、仪表、螺纹等低表面粗糙度值的磨削
	锆刚玉	ZA	呈灰褐色，具有较高的韧性和耐磨性，是 Al_2O_3 和 ZrO_2 的复合氧化物	适用于对耐热钢、钛合金及奥氏体不锈钢等难磨材料进行磨削和重负荷磨削

（续）

种类	名　称	代　号	特　性	应用范围
刚玉类	黑刚玉	BA	呈黑色,又名人造金刚砂,硬度低,但韧性好,自锐性、亲水性能好,价格较低	多用于研磨与抛光,并可用来制造树脂砂轮及砂布、砂纸等
碳化物类	黑碳化硅	C	呈黑色,有光泽,硬度高,但性脆,导热性能好,棱角锋利,自锐性优于刚玉	适于磨削铸铁、黄铜、铅、锌等抗拉强度较低的金属材料,也适于加工各类非金属材料,如橡胶、塑料、矿石、耐火材料以及热敏性材料的干磨等,也可用于珠宝、玉器的自由磨粒的研磨等

（续）

种类	名　称	代　号	特　性	应用范围
碳化物类	绿碳化硅	GC	呈绿色，硬度和脆性均较黑色碳化硅为高，导热性好，棱角锋利，自锐性能好	主要用于硬质合金刀具、工件、螺纹和其他工具的精磨，适于加工宝石、玉石、钟表宝石轴承，及贵金属、半导体的切割、磨削和自由磨粒的研磨等
	立方碳化硅	SC	呈黄绿色，晶体呈立方形，强度高于黑碳化硅，脆性高于绿碳化硅，棱角锋锐	适于磨削韧而粘的材料，如不锈钢、轴承钢等，尤适于微型轴承沟槽的超精加工等
	碳化硼	BC	呈灰黑色，在普通磨料中硬度最高，磨粒棱角锐利，耐磨性能好	适于硬质合金、宝石及玉石等材料的研磨与抛光

2. 磨料粒度号及其选择

（1）粗磨粒号及其基本尺寸(表5-33)

表5-33　粒度号及其基本尺寸(GB/T 2481.1—1998)

粒度号	基本尺寸/μm	粒度号	基本尺寸/μm
F4	5600～4750	F36	600～500
F5	4750～4000	F40	500～425
F6	4000～3350	F46	425～355
F7	3350～2800	F54	355～300
F8	2800～2360	F60	300～250
F10	2360～2000	F70	250～212
F12	2000～1700	F80	212～180
F14	1700～1400	F90	180～150
F16	1400～1180	F100	150～125
F20	1180～1000	F120	125～106
F22	1000～850	F150	106～75
F24	850～710	F180	90～63
F30	710～600	F220	75～53

（2）微粉粒度号及其基本尺寸(表 5-34)

表 5-34　微粉粒度号及其基本尺寸(GB/T 2481. 2—2009)

粒度号	基　本　尺　寸/μm		
	最大值	中　值	最小值
F230	82	53	34
F240	70	44. 5	28
F280	59	36. 5	22
F320	49	29. 2	16. 5
F360	40	22. 8	12
F400	32	17. 3	8
F500	25	12. 8	5
F600	19	9. 3	3
F800	14	6. 5	2
F1000	10	4. 5	1
F1200	7	3	1

（3）不同粒度磨具的使用范围(表 5-35)

表 5-35　不同粒度磨具的使用范围

磨具粒度	一般使用范围
F14 ~ F24	磨钢锭,铸件打毛刺,切断钢坯等
F36 ~ F46	一般平磨、外圆磨和无心磨
F60 ~ F100	精磨和刀具刃磨
F120 ~ F600	精磨、珩磨、螺纹磨
细于 F600	精细研磨、镜面磨削

3. 磨具硬度代号(表 5-36)

表 5-36　磨具硬度代号(GB/T 2484—2006)

磨具硬度	硬度由软——→硬
硬度代号	A、B、C、D、E、F、G、H、J、K、L、M、N、P、Q、R、S、T、Y

4. 磨具组织号及其适用范围(表 5-37)

表 5-37　磨具组织号及其适用范围(GB/T 2484—2006)

磨粒率	磨粒率由大——→小														
组织号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
磨粒率(%)	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34
适用范围	重负荷磨削,成形、精密磨削,间断磨削及自由磨削,或加工硬脆材料等				无心磨,内、外圆磨和工具磨,淬火钢工件磨削及刀具刃磨等				粗磨和磨削韧性大、硬度不高的工件,机床导轨和硬质合金刀具磨削,适合磨削薄壁、细长工件,或砂轮与工件接触面大以及平面磨削等					磨削热敏性较大的钨银合金、磁钢、有色金属,以及塑料、橡胶等非金属材料	

5. 结合剂的代号、性能及其适用范围(表 5-38)

表 5-38　结合剂的代号、性能及其适用范围(GB/T 2484—2006)

类别	名称及代号	原料	性　　能	适用范围
无机结合剂	陶瓷结合剂 V	粘土、长石、硼玻璃、石英及滑石等	化学性能稳定,耐热,耐酸、碱,气孔率大,磨耗小,强度较高,能较好地保持磨具的几何形状,但脆性较大	适用于内、外圆,无心,平面,螺纹及成形磨削,以及刃磨、珩磨及超精磨等,适于对碳钢、合金钢、不锈钢、铸铁、非铁金属以及玻璃、陶瓷等材料进行加工
	菱苦土结合剂 Mg	氧化镁及氯化镁等	工作时发热量小,其结合能力次于陶瓷结合剂,有良好的自锐性,强度较低且易水解	适于磨削热传导性差的材料、磨具,以及与工件接触面较大的工件,还可广泛用于石材加工和磨米

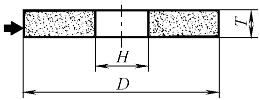
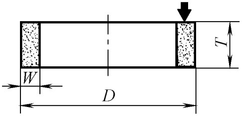
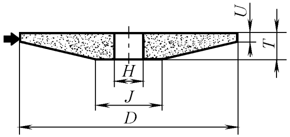
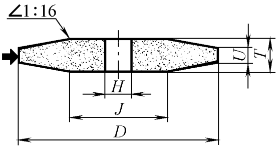
（续）

类别	名称及代号	原料	性　　能	适用范围
有机结合剂	树脂结合剂 B 增强树脂结合剂 BF	酚醛树脂或环氧树脂等	结合强度高，具有一定的弹性，能在高速下进行工作，自锐性能好，但其耐热性、坚固性较陶瓷结合剂差，且不耐酸、碱	适用于荒磨、切断和自由磨削，如磨钢锭、打磨铸、锻件毛刺等。可用来制造高速、低表面粗糙度值、重负荷、薄片切断砂轮，以及各种特殊要求的砂轮
	橡胶结合剂 R 增强橡胶结合剂 RF	合成及天然橡胶	强度高，弹性好，磨具结构紧密，气孔率较小。磨粒钝化后易脱落，但耐酸、耐油及耐热性能较差，磨削时有臭味	适于制造无心磨导轮，精磨、抛光砂轮，超薄型切割用片状砂轮以及轴承精加工用砂轮

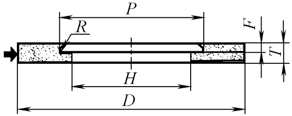
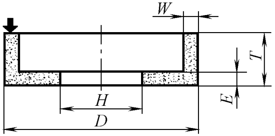
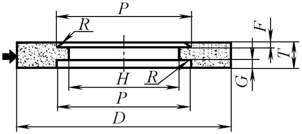
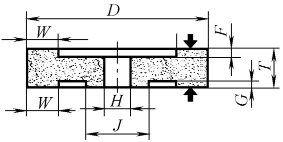
6. 磨具代号

（1）通用砂轮代号（表 5-39）

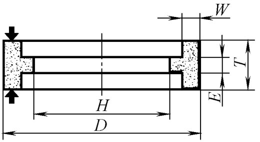
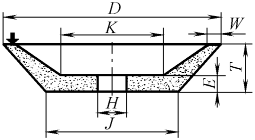
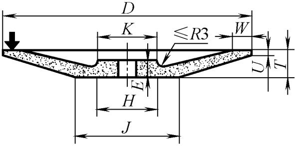
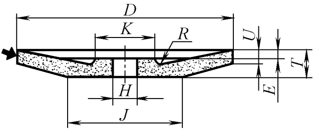
表 5-39　通用砂轮代号（GB/T 2484—2006）

代号	示　意　图	形状尺寸标记
1		平形砂轮 1 型-圆周型面[a] -$D \times T \times H$
2		粘接或夹紧 用筒形砂轮 2 型-$D \times T \times W$
3		单斜边砂轮 3 型-$D/J \times T \times H$
4		双斜边砂轮 4 型-$D \times T \times H$

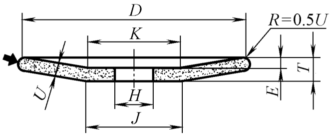
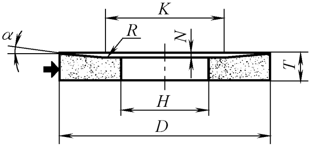
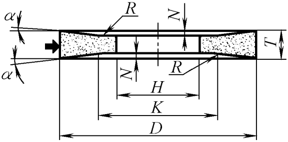
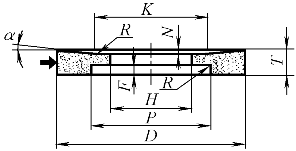
（续）

代号	示 意 图	形状尺寸标记
5		单面凹砂轮 5 型-圆周型面[a] -*D* × *T* × *H*-*P* × *F*
6		杯形砂轮 6 型-*D* × *T* × *H*-*W* × *E*
7		双面凹一号砂轮 7 型-圆周型面[a] -*D* × *T* × *H* -*P* × *F*/*G*
8		双面凹二号砂轮 8 型-*D* × *T* × *H* -*W* × *J* × *F*/*G*

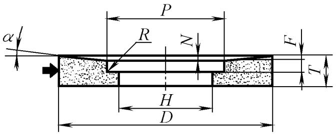
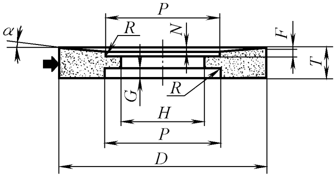
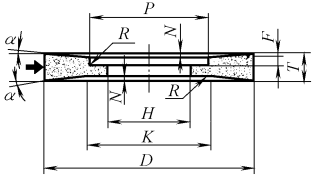
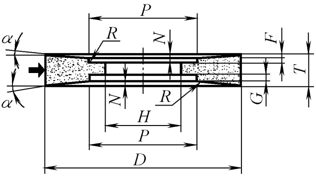
（续）

代号	示　意　图	形状尺寸标记
9		双杯形砂轮 9 型-$D\times T\times H$-$W\times E$
11		碗形砂轮 11 型-$D/J\times T\times H$-$W\times E$
12a		碟形砂轮 12a 型-$D/J\times T\times H$
12b		碟形砂轮 12b 型-$D/J\times T\times H$-U

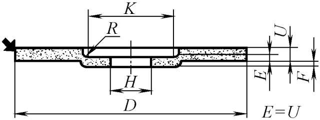
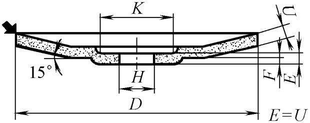
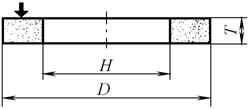
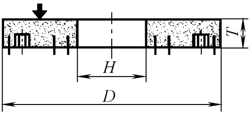
（续）

代号	示　意　图	形状尺寸标记
13		茶托形砂轮 13 型-*D/J*×*T/* *U*×*H-K*
20		单面锥砂轮 20 型-*D/* *K*×*T/N*×*H*
21		双面锥砂轮 21 型-*D/K* ×*T/N*×*H*
22		单面凹单 面锥砂轮 22 型-*D/K*× *T/N*×*H-P*×*F*

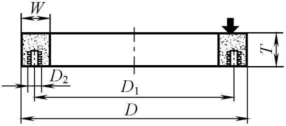
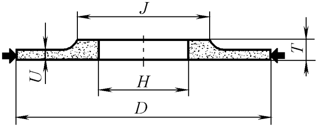
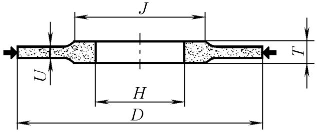
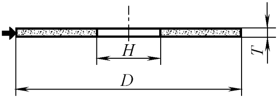
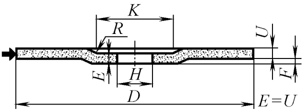
（续）

代号	示 意 图	形状尺寸标记
23		单面凹锥砂轮 23 型-*D* × *T*/*N* × *H*-*P* × *F*
24		双面凹单 面锥砂轮 24 型-*D* × *T*/*N* × *H*-*P* × *F*/*G*
25		单面凹双 面锥砂轮 25 型-*D*/ *K* × *T*/*N* × *H*-*P* × *F*
26		双面凹锥砂轮 26 型-*D* × *T*/*N* × *H*-*P* × *F*/*G*

（续）

代号	示　意　图	形状尺寸标记
27		钹形砂轮 27 型-$D\times U\times H$
28		锥面钹形砂轮 28 型-$D\times U\times H$
35		粘接或夹紧 用圆盘砂轮 35 型-$D\times T\times H$
36		螺栓紧固 平形砂轮 36 型-$D\times T\times H$ -嵌装螺母

（续）

代号	示　意　图	形状尺寸标记
37		螺栓紧固 筒形砂轮 （$W \leqslant 0.17D$） 37 型-$D \times T \times W$ -嵌装螺母
38		单面凸砂轮 38 型-圆周型面[a] $a\text{-}D/J \times T/U \times H$
39		双面凸砂轮 39 型-圆周型面[a] $a\text{-}D/J \times T/U \times H$
41		平形切割砂轮 41 型-$D \times T \times H$
42		钹形切割砂轮 42 型-$D \times U \times H$

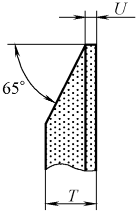
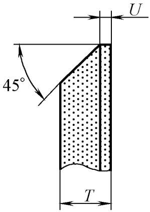
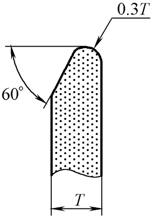
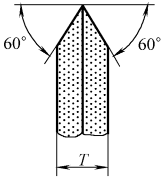
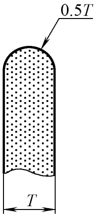
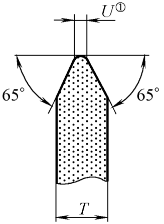
注：表图中有“➡”者为基本工作面（下同）。

ⓐ对应的圆周型面见表 5-40。

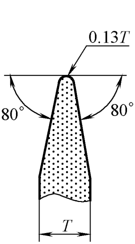
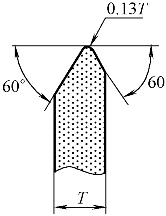
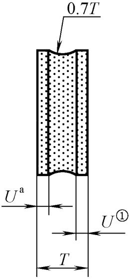
（2）圆周型面

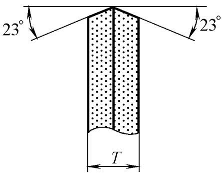
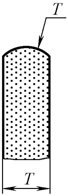
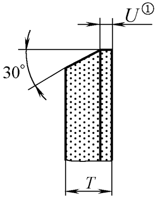
平形砂轮的圆周可有各种型面。其中一些型面是标准化的，应在砂轮型号后面用字母表示（表 5-40）。

表 5-40　圆周型面

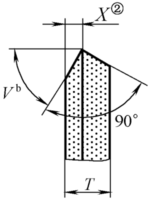
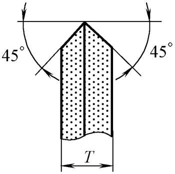
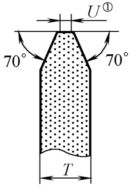
代号	B	C	D
型面			
代号	E	F	G
型面			

（续）

代号	H	I	J
型面			

代号	K	L	M
型面			

（续）

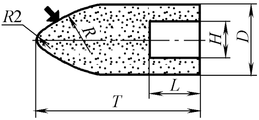
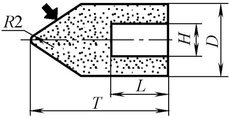
代号	N	P	Q
型面			

① $U=3.2$mm，除非订货单另有规定。

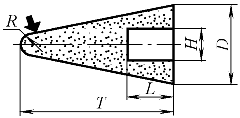
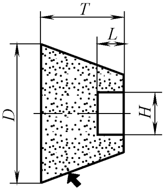
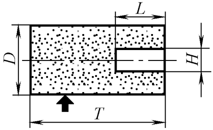
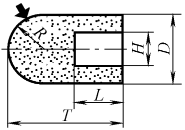
② 对于 N 型面，V 和 X 根据订货单而定。

（3）不带柄磨头代号（表 5-41）

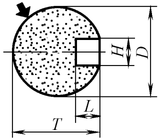
表 5-41　不带柄磨头代号（GB/T 2484—2006）

代号	示意图	形状尺寸标记
16		椭圆锥磨头 16 型- $D\times T\times H$
17a		60°锥磨头 17a 型-$D\times T\times H$

（续）

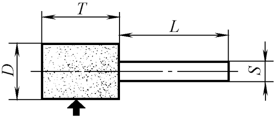
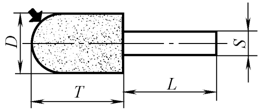
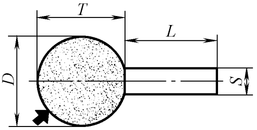
代号	示意图	形状尺寸标记
17b		圆头锥磨头 17b 型-$D\times T\times H$
17c		截锥磨头 17c 型-$D\times T\times H$
18a		圆柱形磨头 18a 型- $D\times T\times H$
18b		半球形磨头 18b 型-$D\times T\times H$

（续）

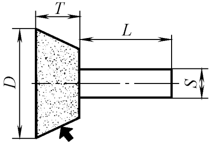
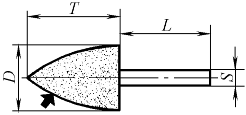
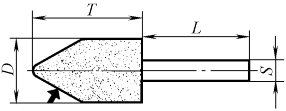
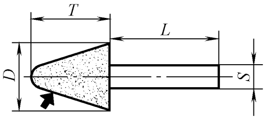
代号	示意图	形状尺寸标记
19		球形磨头 19 型- $D\times T\times H$

（4）带柄磨头代号（表 5-42）

表 5-42　带柄磨头代号（GB/T 2484—2006）

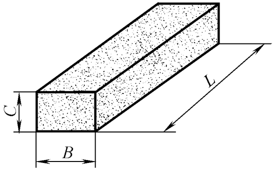
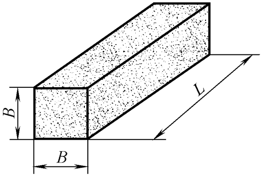
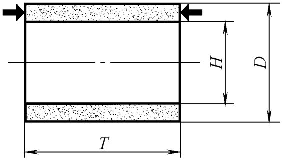
代号	示意图	形状尺寸标记
52		带柄圆柱磨头 5201 型- $D\times T\times S$-L
		带柄半球形磨头 5202 型-$D\times T\times S$-L
		带柄球形磨头 5203 型-$D\times T\times S$-L

（续）

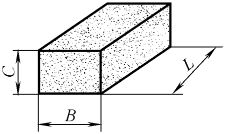
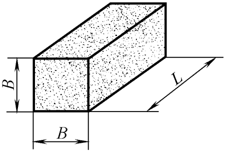
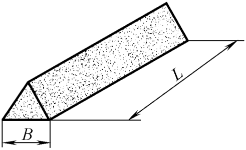
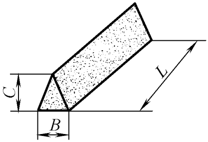
代号	示意图	形状尺寸标记
52		带柄截锥磨头 5204 型-$D \times T \times S$-L
		带柄椭圆锥磨头 5205 型- $D \times T \times S$-L
		带柄 60°锥磨头 5206 型-$D \times T \times S$-L
		带柄圆头锥磨头 5207 型- $D \times T \times S$-L

（5）一般磨石（油石）代号（表 5-43）

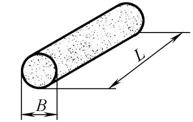
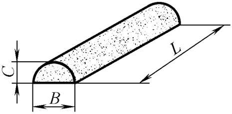
表 5-43　一般磨石（油石）代号（GB/T 2484—2006）

代号	示意图	形状尺寸标记
54		长方形珩磨磨石 5410 型- $B \times C \times L$
		正方形珩磨磨石 5411 型-$B \times L$
		珩磨磨石 5420 型-$D \times T \times H$

（续）

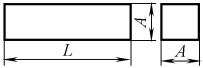
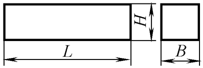
代号	示意图	形状尺寸标记
90		长方形磨石 9010 型-$B \times C \times L$
		正方形磨石 9011 型- $B \times L$
		三角形磨石 9020 型-$B \times L$
		刀形磨石 9021 型- $B \times C \times L$

（续）

代号	示意图	形状尺寸标记
90		圆形磨石 9030 型- $B \times L$
		半圆形磨石 9040 型- $B \times C \times L$

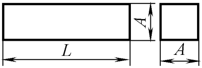
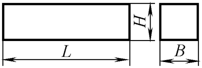
（6）超精磨石（油石）代号（表 5-44）

表 5-44　超精磨石（油石）代号（GB/T 14319—2008）

代号	名称	形状图	尺寸标记
SFJ	正方形 超精油石		SFJ-$A \times L$
SCJ	长方形 超精油石		SCJ-$B \times H \times L$

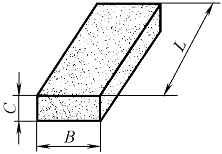
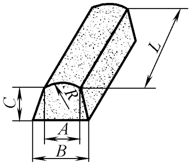
（7）陶瓷结合剂强力珩磨磨石（油石）代号（表 5-45）

表 5-45　陶瓷结合剂强力珩磨磨石（油石）代号（GB/T 14319—2008）

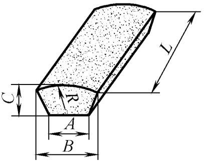
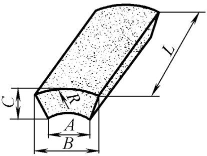
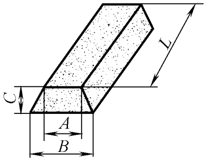
代号	名称	形状图	尺寸标记
SFHQ	正方形油石		SFHQ-$A\times L$
SCHQ	长方形油石		SCHQ-$B\times H\times L$

（8）砂瓦代号（表 5-46）

表 5-46　砂瓦代号（GB/T 2484—2006）

代号	示意图	形状尺寸标记
31		平形砂瓦 3101 型-$B\times C\times L$
		平凸形砂瓦 3102 型-$B\times A\times R\times L$

（续）

代号	示意图	形状尺寸标记
31		凸平形砂瓦 3103 型-$B\times A\times R\times L$
		扇形砂瓦 3104 型-$B\times A\times R\times L$
		梯形砂瓦 3109 型-$B\times A\times C\times L$

（9）砂轮的标记方法示例（GB/T 2484—2006）

砂轮 GB/T 4127 1 N－300×50×76.2－··· A / F36 L 5 V···－50 m/s

砂轮
对应标准号
型号 1
圆周型面
外径
厚度
孔径
磨料牌号（四个空格间隔）
磨料种类
粒度
硬度等级
组织
结合剂种类
结合剂牌号（四个空格间隔）
最高工作速度

7. 普通磨具的最高工作速度（表 5-47）

表 5-47　普通磨具的最高工作速度

磨具名称	形状代号	最高工作速度/（m/s）				
		陶瓷结合剂	树脂结合剂	橡胶结合剂	菱苦土结合剂	增强树脂结合剂
平形砂轮	1	35	40	35	—	—
丝锥板牙抛光砂轮	1	—	—	20	—	—
石墨抛光砂轮	1	—	30	—	—	—
镜面磨砂轮	1	—	25	—	—	—
柔性抛光砂轮	1	—	—	23	—	—
磨螺纹砂轮	1	50	50	—	—	—
树脂重负荷钢坯修磨砂轮	1	—	50～60	—	—	—
筒形砂轮	2	25	30	—	—	—
单斜边砂轮	3	35	40	—	—	—

（续）

磨　具　名　称	形　状 代　号	最高工作速度/（m/s）				
		陶　瓷 结合剂	树　脂 结合剂	橡　胶 结合剂	菱苦土 结合剂	增强树脂 结合剂
双斜边砂轮	4	35	40	—	—	—
单面凹砂轮	5	35	40	35	—	—
杯形砂轮	6	30	35	—	—	—
双面凹一号砂轮	7	35	40	35	—	—
双面凹二号砂轮	8	30	30	—	—	—
碗形砂轮	11	30	35	—	—	—
碟形砂轮	12a 12b	30	35	—	—	—
单面凹带锥砂轮	23	35	40	—	—	—

（续）

磨具名称	形状代号	最高工作速度/（m/s）				
		陶瓷结合剂	树脂结合剂	橡胶结合剂	菱苦土结合剂	增强树脂结合剂
双面凹带锥砂轮	26	35	40	—	—	—
钹形砂轮	27	—	—	—	—	60～80
砂瓦	31	30	30	—	—	—
螺栓紧固平形砂轮	36	—	35	—	—	—
单面凸砂轮	38	35	—	—	—	—
平行切割砂轮	41	35	50	50	—	60～80
带柄磨头	52	25	25	—	—	—
小砂轮	—	35	35	35	—	—

注：特殊的最高工作速度的磨具，应按用户要求制造，但必须有醒目的标志。

八、超硬材料

超硬材料指金刚石、立方氮化硼等以显著高硬度为特征的磨料。

1. 超硬磨料的品种、代号及应用范围（表5-48）

表5-48　超硬磨料的品种、代号及应用范围

（GB/T 6405—1994）

品种		适用范围		
系列	代号	粒度		推荐用途
		窄范围	宽范围	
人造金刚石	RVD	60/70～325/400		树脂、陶瓷结合剂制品等
	MBD	35/40～325/400	30/40～60/80	金属结合剂磨具，锯切、钻探工具及电镀制品等
	SCD	60/70～325/400		树脂结合剂磨具，加工钢与硬质合金组合件等
	SMD	16/18～60/70	16/20～60/80	锯切、钻探和修整工具等
	DMD	16/18～60/70	16/20～40/50	修整工具等
	M-SD	36/54～0/0.5		硬、脆材料的精磨、研磨和抛光等
立方氮化硼	CBN	20/25～325/400	20/30～60/80	树脂、陶瓷、金属结合剂制品
	M-CBN	36/54～0/0.5		硬、韧金属材料的研磨和抛光

2. 粒度

（1）超硬磨料的粒度号及尺寸范围（表 5-49）

表 5-49　超硬磨料的粒度号及尺寸范围

（GB/T 6406—1996）（单位：μm）

范围	粒度号	通过网孔的基本尺寸	不通过网孔的基本尺寸
窄范围	16/18	1180	1000
	18/20	1000	850
	20/25	850	710
	25/30	710	600
	30/35	600	500
	35/40	500	425
	40/45	425	355
	45/50	355	300
	50/60	300	250
	60/70	250	212
	70/80	212	180
	80/100	180	150
	100/120	150	125
	120/140	125	105
	140/170	106	90
	170/200	90	75
	200/230	75	63
	230/270	63	53
	270/325	53	45
	325/400	45	38

（续）

范围	粒度号	通过网孔的基本尺寸	不通过网孔的基本尺寸
宽范围	16/20	1180	850
	20/30	850	600
	30/40	600	425
	40/50	425	300
	60/80	250	180

（2）微粉粒度标记及尺寸范围（表 5-50）

表 5-50　微粉粒度标记及尺寸范围

（JB/T 7990—1998）（单位：μm）

粒度标记	公称尺寸范围 D	粗粒最大尺寸 D_{max}	细粒最小尺寸 D_{min}	粒度组成
M0/0.5	0～0.5	0.7	—	（1）不得有大于粗粒最大尺寸以上的颗粒 （2）粗粒含量不得超过3% （3）细粒含量：M3/6 以细的各粒度不得超过8%；M4/8 至 M10/20 不超过18%；M12/22 至
M0/1	0～1	1.4	—	
M0.5/1	0.5～1	1.4	0	
M0.5/1.5	0.5～1.5	1.9	0	
M0/2	0～2	2.5	—	
M1/2	1～2	2.5	0.5	
M1.5/3	1.5～3	3.8	1	
M2/4	2～4	5.0	1	
M2.5/5	2.5～5	6.3	1.5	
M3/6	3～6	7.5	2	
M4/8	4～8	10.0	2.5	
M5/10	5～10	11.0	3	
M6/12	6～12	13.2	3.5	
M8/12	8～12	13.2	4	

（续）

粒度标记	公称尺寸范围 D	粗粒最大尺寸 D_{max}	细粒最小尺寸 D_{min}	粒度组成
M8/16 M10/20 M12/22 M20/30 M22/36 M36/54	8～16 10～20 12～22 20～30 22～36 36～54	17.6 22.0 24.2 33.0 39.6 56.7	4 6 7 10 12 15	M36/54 不超过 28% （4）最细粒含量：各粒度均不超过 2%

3. 超硬磨料结合剂及其代号、性能和应用范围（表 5-51）

表 5-51　超硬磨料结合剂及其代号、性能和应用范围

结合剂及其代号	性　　能	应用范围
树脂结合剂 B	磨具自锐性好，故不易堵塞，有弹性，抛光性能好，但结合强度差，不宜结合较粗磨粒，耐磨、耐热性差，故不适于较重负荷的磨削，可采用镀敷金属衣磨料，以改善结合性能	树脂结合剂的金刚石磨具主要用于硬质合金工件和刀具以及非金属材料的半精磨和精磨；树脂结合剂的立方氮化硼磨具主要用于高钒高速钢刀具的刃磨以及工具钢、不锈钢、耐热合金钢工件的半精磨与精磨

（续）

结合剂及其代号		性　　能	应用范围
陶瓷结合剂 V		耐磨性较树脂结合剂高，工作时不易发热和堵塞，热膨胀量小，且磨具易修整	陶瓷结合剂的磨具常用于精密螺纹、齿轮的精磨及接触面较大的成形磨，并适于加工超硬材料烧结体的工件
金属结合剂 M	青铜结合剂	结合强度较高，形状保持性好，使用寿命较长，且可承受较大负荷。但磨具自锐性能差，易堵塞发热，故不宜结合细粒度磨料，磨具修整也较困难	金属结合剂的金刚石磨具主要用于对玻璃、陶瓷、石料、半导体等非金属硬脆材料的粗、精磨及切割、成形磨，以及对各种材料的珩磨；金属结合剂的立方氮化硼磨具用于合金钢等材料的珩磨，效果显著
	电镀金属结合剂	结合强度高，表层磨粒密度较高，且均裸露于表面，故切削刃口锐利，加工效率高。但由于镀层较薄，因此使用寿命较短	电镀金属结合剂的磨具多用于成形磨削。电镀金属结合剂还用来制造小磨头、套料刀、切割锯片及修整滚轮等。电镀金属立方氮化硼磨具用于加工各种钢类工件的小孔，精度好，效率高，对小径不通孔的加工效果尤显优越

4. 浓度代号（表 5-52）

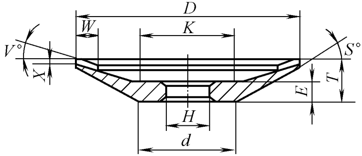
表 5-52　浓度代号（GB/T 6409.1—1994）

代　　号	磨料含量/（g/cm³）	浓　　度
25	0.22	25%
50	0.44	50%
75	0.66	75%
100	0.88	100%
150	1.32	150%

注：磨料在磨具中的浓度基础值是 100% 时，等于 0.88 g/cm³。当金刚石密度为 3.52g/cm³ 时，此值相当于体积的 25%。其他浓度均按此比例计算。

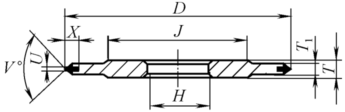
5. 砂轮、磨石及磨头的尺寸代号和术语（表 5-53）

表 5-53　砂轮、磨石及磨头的尺寸代号和术语
（GB/T 6409.1—1994）

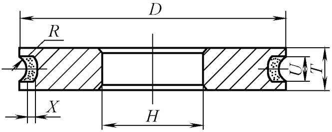


a)

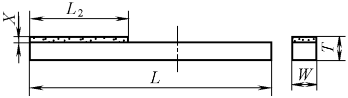
（续）



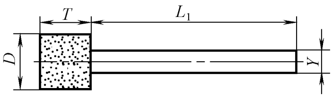
b)



c)



d)



e)

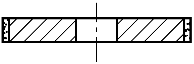
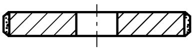
（续）

代号	汉　　语	代号	汉　　语
D	直径	*S*	基体角度
E	孔处厚度	*T*	总厚度
H	孔径	T_1	基体厚度
J	台径	*U*	磨料层厚度（当小于 *T* 或 T_1 时）
K	凹面直径		
L	柄长	*V*	面角（磨料层）
L_1	轴长	*W*	磨料层宽度
L_2	磨料层长度	*X*	磨料层深度
R	半径	*Y*	心轴直径

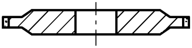
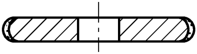
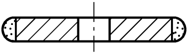
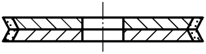
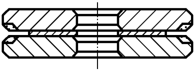
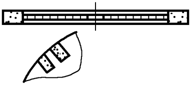
6. 砂轮、油石及磨头形状代号（表 5-54）

表 5-54　砂轮、油石及磨头形状代号

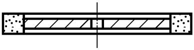
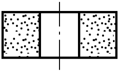
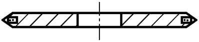
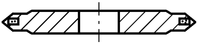
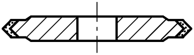
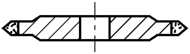
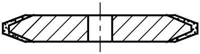
（GB/T 6409.1—1994）

系列	名称	形　　状	代号
平行系	平形砂轮		1A1
	平形倒角砂轮		1L1

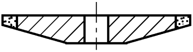
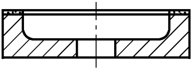
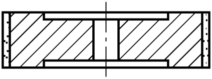
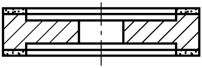
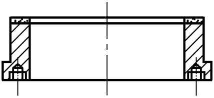
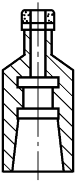
（续）

系列	名称	形　　状	代号
平行系	平形加强砂轮		14A1
	弧形砂轮		1FF1
			1F1
	平形燕尾砂轮		1EE1V
	双内斜边砂轮		1V9
	切割砂轮		1A6Q

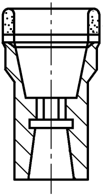
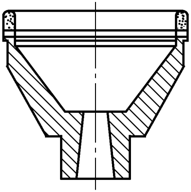
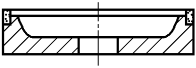
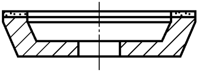
（续）

系列	名称	形　　状	代号
平行系	薄片砂轮		1A1R
	平形小砂轮		1A8
	双斜边砂轮		1E6Q
			14E6Q
			14EE1
			14E1
			1DD1

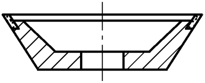
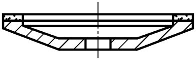
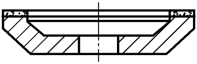
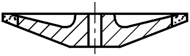
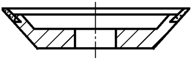
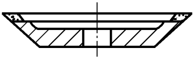
（续）

系列	名称	形　　状	代号
平行系	单斜边砂轮		4B1
	单面凹砂轮		6A2
	双面凹砂轮		9A1
			9A3
筒形系	筒形砂轮		6A2T
	筒形1号砂轮		2F2/1

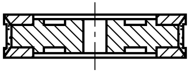
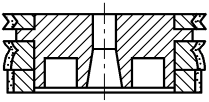
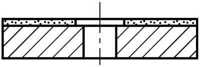
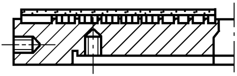
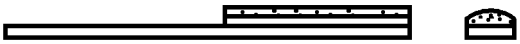
（续）

系列	名称	形　　状	代号
筒形系	筒形 2 号砂轮		2F2/2
	筒形 3 号砂轮		2F2/3
杯形系	杯形砂轮		6A9
	碗形砂轮		11A2

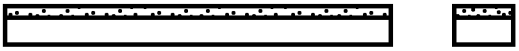
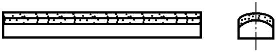
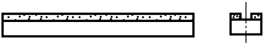
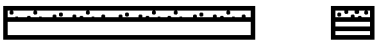
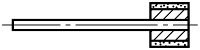
(续)

系列	名称	形　　状	代号
杯形系	碗形砂轮		11V9
碟形系	碟形砂轮		12A2/20°
			12A2/45°
			12D1
			12V9
			12V2

（续）

系列	名称	形　　状	代号
专用加工系	磨边砂轮		1DD6Y
			2EEA1V
	磨盘		1A2
			10X6A2T
磨石类	带柄平形油石		HA
	带柄弧形油石		HH

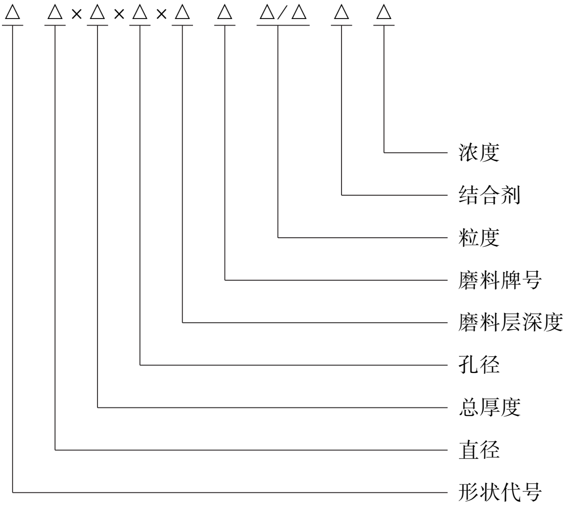
（续）

系列	名称	形　　状	代号
油石类	带柄三角油石		HEE
	平形带弧油石		HMA/1
	平形油石		HMA/2
	弧形油石		HMH
	平形带槽油石		2HMA
	基体带斜油石		HMA/S°
磨头类	磨头		1A1W

7. 标记示例

超硬磨具及制品的标记，应包括产品形状代号、特征尺寸、磨料牌号和粒度、结合代号、浓度等若干要素，从而构成完整的产品标记。

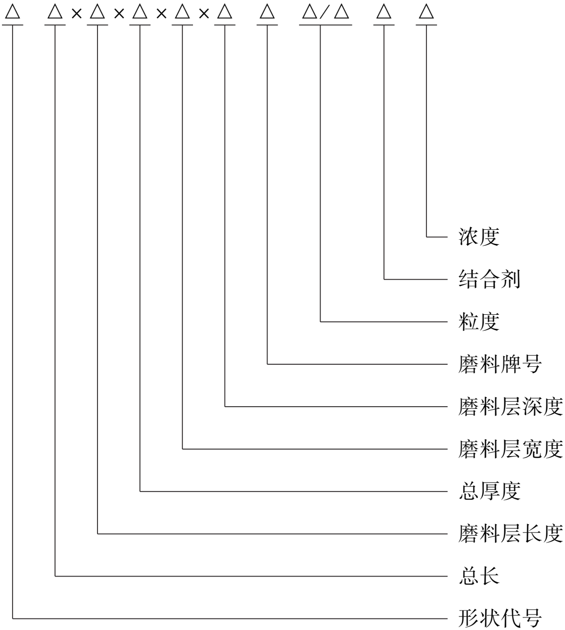
（1）砂轮



示例：形状代号 1A1、$D=50\text{mm}$、$T=4\text{mm}$、$H=10\text{mm}$、$X=3\text{mm}$、磨料牌号 RVD、粒度 100/120、结合剂 B、浓度 75 的砂轮标记为：

1A1 50×4×10×3 RVD 100/120 B 75

（2）油石



示例：形状代号 HA、$L = 150$mm、$L_2 = 40$mm、$T = 10$mm、$W = 10$mm、$X = 2$mm、磨料牌号 RVD、粒度 120/140、结合剂 B、浓度 75 的磨石标记为：

HA 150×40×10×10×2 RVD 120/140 B 75

8. 超硬材料制品形状代号及主要用途（表5-55）

表5-55　超硬材料制品形状代号及主要用途

名　　称	代　号	主要用途
平形砂轮	1A1	外圆、平面、内圆、无心磨、刃磨、螺纹磨、电解磨等
平形倒角砂轮	1L1	
平形加强砂轮	14A1	
弧形砂轮	1FF1	
弧形砂轮	1F1	
平形燕尾砂轮	1EE1V	
双内斜边砂轮	1V9	
切割砂轮	1A6Q	切割非金属材料
薄片砂轮	1A1R	
平形小砂轮	1A8	磨内孔、模具整形
双斜边砂轮	1E6Q	外圆、平面、内圆、无心磨、刃磨、螺纹磨、电解磨、磨槽、磨齿等
双斜边砂轮	14E6Q	
双斜边砂轮	14EE1	
双斜边砂轮	14E1	
双斜边砂轮	1DD1	
单斜边砂轮	4B1	
单斜凹砂轮	6A2	
双面凹砂轮	9A1	
双面凹砂轮	9A3	

（续）

名　　称	代　号	主要用途
筒形砂轮	6A2T	铣磨光学玻璃平面、球面、弧面等
筒形 1 号砂轮	2F2/1	
筒形 2 号砂轮	2F2/2	
筒形 3 号砂轮	2F2/3	
杯形砂轮	6A9	刃磨
碗形砂轮	11A2	刃磨、电解磨
碗形砂轮	11V9	磨齿形面
碟形砂轮	12A2/20°	磨铣刀、铰刀、拉刀、齿轮、齿面、锯齿、端面磨、平面磨、电解等
碟形砂轮	12A2/45°	
碟形砂轮	1ZD1	
碟形砂轮	12V9	
碟形砂轮	12V2	
磨边砂轮	1DD6Y	
磨边砂轮	2EEA1V	光学镜片、玻璃磨边
磨边砂轮	14A1	
磨边砂轮	2D9	
磨边砂轮	9A1	
磨边砂轮	1A1	
精磨片	1A8/1	
精磨片	1P8/2	精磨和超精磨光学镜片、玻璃、陶瓷、宝石等
精磨片	1A2/3	
精磨片	1A2/4	

（续）

名　　称	代　号	主要用途
带柄平形油石	HA	修磨硬质合金、钢制模具
带柄弧形油石	HH	
带柄三角油石	HEE	
平行带弧油石	HMA/1	
平形油石	HMA/2	精密珩磨淬火钢、不锈钢、铸铁、渗氮钢等内孔
弧形油石	HMH	
平形带槽油石	2HMA	
基体带斜油石	HMA/S	
磨头	1A1W	雕刻、内孔及复杂面
电镀平头扁锉	CP1	钳工修整工具、模具等
电镀尖头圆锉	CJ1	
电镀尖头方锉	CJ2	
电镀尖头等边三角形锉	CJ3	
电镀尖头圆锉	CJ4	
电镀尖头双边圆扁锉	CJ5	
电镀尖头刀形锉	CJ6	
电镀尖头三角锉	CJ7	
电镀尖头双半圆锉	CJ8	
电镀尖头椭圆锉	CJ9	

第六章　镗 削 加 工

镗削加工是用镗刀在镗床上加工孔和孔系的一种加工方法。镗削时，工件装夹在工作台上，镗刀安装在镗杆上并作旋转的主运动，进给运动由镗轴的轴向移动或工作台的移动来实现。

镗削可以加工机座、箱体、支架等外形复杂的大型零件上的直径较大的孔，以及有位置精度要求的孔和孔系。除此之外，还可以进行钻孔、扩孔和铰孔及铣平面，以及在卧式铣镗床的平旋盘上安装车刀车削端面、短圆柱面及内外螺纹等。

镗削加工能获得较高的精度和较小的表面粗糙度。一般尺寸公差等级为 IT8 ~ IT7，*Ra* 值为 1.6 ~ 0.8μm。

一、镗刀杆、镗杆和镗套

1. 镗刀杆

（1）锥柄 90°镗刀杆各部分尺寸（表 6-1）

（2）锥柄轴向紧固 90°镗刀杆各部分尺寸（表 6-2）

（3）锥柄 45°镗刀杆各部分尺寸（表 6-3）

（4）锥柄 60°镗刀杆各部分尺寸（表 6-4）

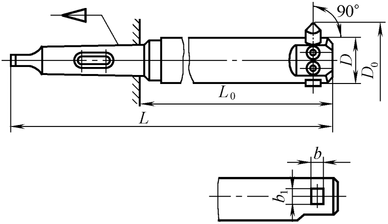
（5）锥柄卡口镗铰刀杆各部分尺寸（表 6-5）

（6）不通孔用锥柄卡口镗铰刀杆各部分尺寸（表 6-6）

（7）锥柄镗铰刀杆各部分尺寸（表 6-7）

表 6-1 锥柄 90°镗刀杆各部分尺寸

（JB/T 3411.83—1999） （单位：mm）



圆锥号		D	D_0	b	b_1	L	L_0
莫氏	3～6	25～100	32～190	8～25	8.5～26	280～900	186～690
米制	80、100	40～160	48～300	12～32	12～33	280～900	140～640

注：表中尺寸为该镗杆的尺寸范围，具体使用可按标准号查对（下同）。

（8）切槽刀杆各部分尺寸（表 6-8）

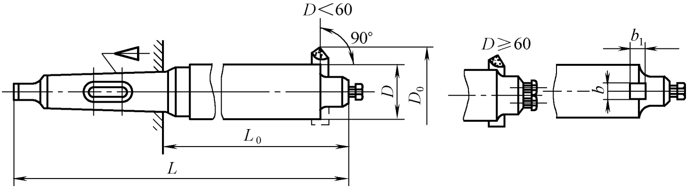
（9）镗床用端铣刀杆各部分尺寸（表 6-9）

（10）刀座用镗杆各部分尺寸（表 6-10）

（11）镗大孔用刀杆（表 6-11）

表 6-2　锥柄轴向紧固 90°镗刀杆各部分尺寸

（JB/T 3411.84—1999）　　　　（单位：mm）



圆锥号		D	D_0	b	b_1	L	L_0
莫氏	3 ~ 6	16 ~ 100	20 ~ 190	5 ~ 25	5.5 ~ 26	240 ~ 900	146 ~ 690
米制	80、100、120	40 ~ 200	48 ~ 380	12 ~ 40	12.5 ~ 41	240 ~ 900	140 ~ 640

2. 镗杆

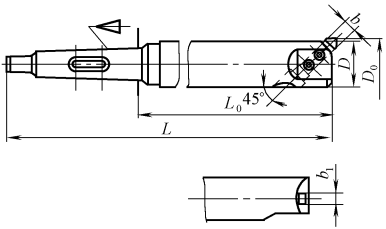
（1）镗杆结构要素（表 6-12）

（2）镗杆端部导向结构形式（表 6-13）

（3）镗杆柄部的连接形式（表 6-14）

表 6-3　锥柄 45°镗刀杆各部分尺寸

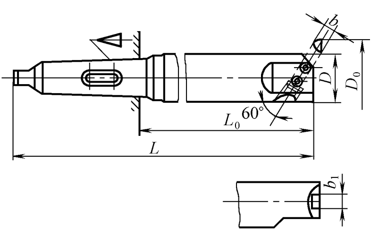
（JB/T 3411.85—1999）　　（单位：mm）



圆锥号		D	D_0	b	b_1	L	L_0
莫氏	3～6	25～50	30～85	8～16	8.5～16.5	280～900	162.5～650
米制	80、100	40～50	50～85	12～16	12.5～16.5	280～900	190～490

表 6-4　锥柄 60°镗刀杆各部分尺寸

（JB/T 3411.86—1999）　　（单位：mm）

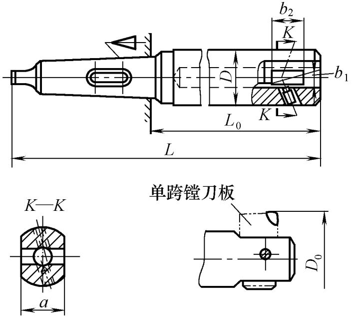


（续）

圆锥号		D	D_0	b	b_1	L	L_0
莫氏	5～6	50～100	60～160	16～25	16.5～26	355～900	190～690
米制	80、100	50～160	60～290	16～32	16.5～33	355～900	140～640

表 6-5　锥柄卡口镗铰刀杆各部分尺寸

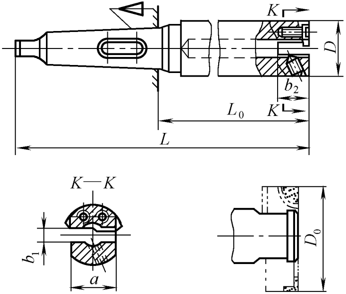
（JB/T 3411.87—1999）　　（单位：mm）



圆锥号		D	D_0	a	b_1	b_2	L	L_0
莫氏	4～6	20～100	24～180	18～92	8～25	20～40	240～900	122.5～690
米制	80	40～120	48～230	36～112	12～25	25～40	240～900	180～580

表 6-6　不通孔用锥柄卡口镗铰刀杆各部分尺寸

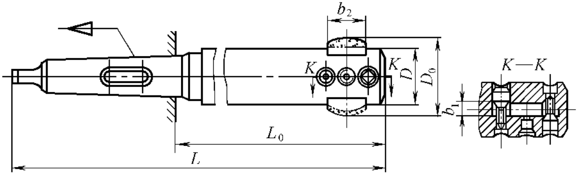
（JB/T 3411.88—1999）　　　　　　（单位：mm）



圆锥号		D	D_0	a	b_1	b_2	L	L_0
莫氏	4 ~ 6	32 ~ 100	38 ~ 180	28 ~ 92	12 ~ 25	25 ~ 40	280 ~ 900	162.5 ~ 690
米制	80	40 ~ 120	48 ~ 230	36 ~ 112	12 ~ 25	25 ~ 40	280 ~ 900	180 ~ 580

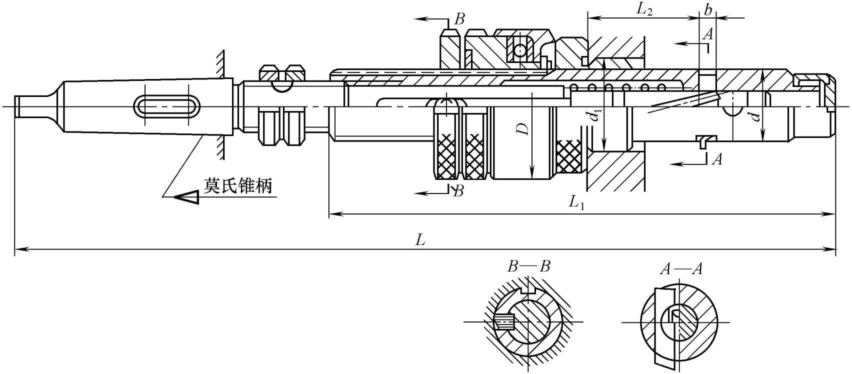
表 6-7　锥柄镗铰刀杆各部分尺寸(JB/T 3411.89—1999)

(单位:mm)



圆锥号		D	D_0	刀孔尺寸(Ⅰ型)		刀孔尺寸(Ⅱ型)		L	L_0
				b_1	b_2	b_1	b_2		
莫氏	4～6	25～100	30～200	8～20	20～35	8～22	20～60	280～900	162.5～690
米制	80～100	40～120	50～250	12～25	25～40	12～25	35～75	280～900	140～640

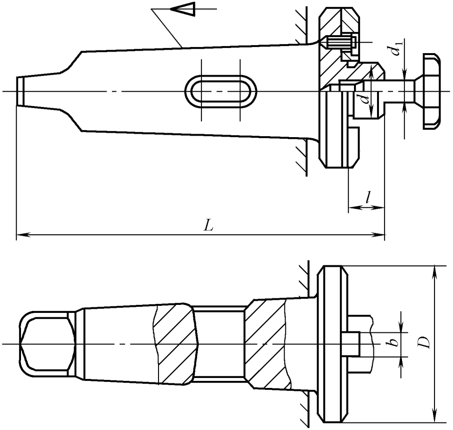
表 6-8　切槽刀杆各部分尺寸(JB/T 3411.96—1999)　(单位:mm)



莫氏圆锥号	d	d_1	L_2	$L\approx$	L_1	D	b
3	32	42 ~ 47	20 ~ 100	370 ~ 395	238	68	8
4	42	50 ~ 78	20 ~ 125	436 ~ 470	278	80	10
			110 ~ 250	565 ~ 600	408		
5	60	80 ~ 120	20 ~ 160	540 ~ 585	350	106	12
			140 ~ 320	700 ~ 745	510		

表 6-9　镗床用端铣刀杆各部分尺寸(JB/T 3411. 97—1999)

(单位:mm)

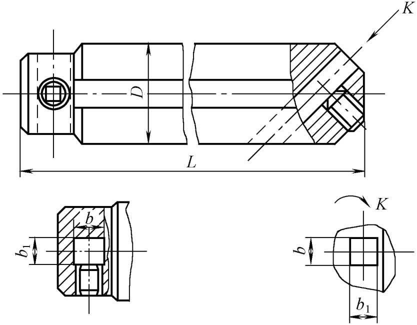


（续）

圆锥号														
	莫氏	4			5				6				—	
	米制	—											80	
d		27	32	40	27	32	40	50	27	32	40	50	40	50
D_{max}		55	75	100	55	75	100	120	55	75	100	120	100	120
d_1		M12	M16	M20	M12	M16	M20	M24	M12	M16	M20	M24	M20	M24
b		12	14	16	12	14	16	18	12	14	16	18	16	18
L		164	168	172	196	200	204	208	258	262	266	270	276	280
l		21	24	27	21	24	27	30	21	24	27	30	27	30

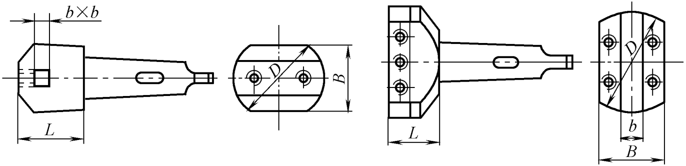
表 6-10　刀座用镗杆各部分尺寸（JB/T 3411.99—1999）

（单位：mm）



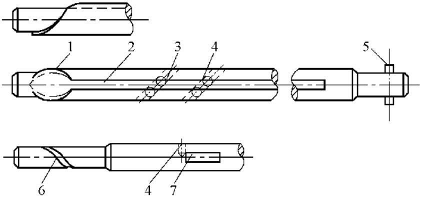
<table>
<tr><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">L</th><th colspan="2">b</th><th rowspan="2">b_1</th></tr>
<tr><th>基本尺寸</th><th>极限偏差 D11</th></tr>
<tr><td rowspan="2">63</td><td>280</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="4">+0.195
+0.065</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>400</td></tr>
<tr><td rowspan="2">80</td><td>320</td><td rowspan="2">25</td><td rowspan="2">26</td></tr>
<tr><td>450</td></tr>
</table>

表 6-11　镗大孔用刀杆　　（单位:mm）



莫氏锥柄	D	L	B	b	镗孔直径范围
5	75	75	—	20	85～150
	90		—	25	102～190
6	110	80	85		122～210
	130		100		142～230
5	140	60	90		150～240
	220	70			230～320
6	200				210～300
	280	80			290～380

表 6-12　镗杆结构要素

图　　　示	说　　　明
 1—螺旋导向　2—键槽　3—刀孔　4—螺孔　5—拨销　6—导向部分　7—矩形槽	与镗模配合使用的镗杆一般为专用镗杆,为适用镗刀安装,在镗杆上开方孔或圆孔,安装单刃镗刀,在镗杆上开矩形槽,安装镗刀块。采用单刃镗刀时,因刀头要通过镗套上的引刀槽,故在镗杆上开一条长键槽。端部的螺旋导向结构,可使镗套上的定向键顺利地进入键槽。拨销与浮动夹头连接,当安装在镗床的主轴孔中时,即可带动镗杆回转

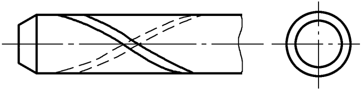
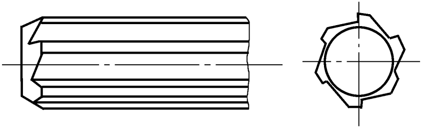
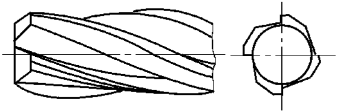
(4) 镗孔直径 D、镗杆直径 d、刀方孔 $b \times b$ 的对照(表 6-15)

3. 镗套、衬套

(1) 镗套(表 6-16)

(2) 镗套用衬套(表 6-17)

表 6-13　镗杆端部导向结构形式

<table>
<tr><th>图　　示</th><th>特点和主要用途</th></tr>
<tr><td></td><td>结构简单,镗杆与导套接触面积大,润滑条件差,工作时镗杆与套易“咬死”,适用于低速回转。工作时注意润滑</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="2">导向部分开有直沟槽和螺旋沟槽,前者制造较简单,均可减少与套的接触面积,沟槽中能存屑,但仍不能完全避免“咬死”。在直径小于 60mm 的镗杆上用,切削速度不宜大于 20m/min</td></tr>
<tr><td></td></tr>
</table>

（续）

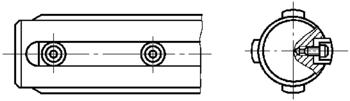
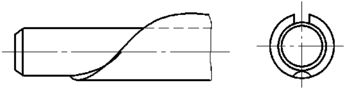
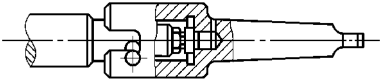
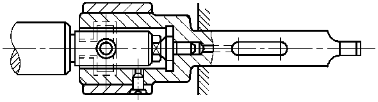
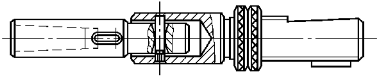
图　　示	特点和主要用途
	导向部分装有镶块，与套的接触面积小，转速可比开沟槽的高，但镶块磨损较快，钢镶块比铜镶块耐用，但摩擦系数较大
	导向部分制出螺旋角小于 45°的螺旋导向，并与镗杆上的长键槽相连，使套上的定向键顺利地进入键槽，从而保证镗刀准确地进入导套的引刀槽中

表 6-14　镗杆柄部的连接形式(包括浮动夹头)

简　　图	特点和主要用途
	结构简单,装拆方便,常用于批量生产
	结构与上图基本类似,常用于批量生产
	结构简单,浮动效果不如下图,常用于大量生产

（续）

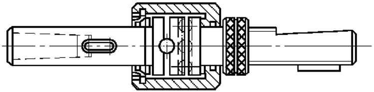
简　　图	特点和主要用途
	结构较复杂，浮动效果较好，常用于大量生产

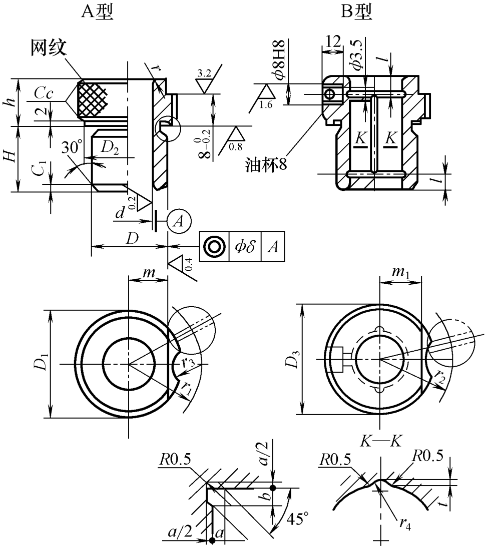
表 6-15　镗孔直径 *D*、镗杆直径 *d*、刀方孔 *b*×*b* 的对照

（单位：mm）

D	30～40	40～50	50～70	70～90	90～100
d	20～30	30～40	40～50	50～65	65～90
b×*b*	8×8	10×10	12×12	16×16	16×16，20×20

注：镗杆有足够的刚度或切削载荷大时取大值，一般取 $d=0.7071D$。尽量避免将镗杆做成阶梯状。

表 6-16 镗套(JB/T8046.1—1999)(单位:mm)



标记示例:

$d=40$mm,公差带为 H7;$D=50$mm,公差带为 g5,$H=60$mm 的 A 型镗套:

镗套

A40H7 ×50g5 ×60　JB/T8046.1—1999

（续）

d	基本尺寸	20	22	25	28	32	35	40	45	50
	极限偏差 H6	+0.013 0				+0.016 0				
	极限偏差 H7	+0.021 0				+0.025 0				
D	基本尺寸	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差 g5	−0.007 −0.016		−0.009 −0.020					−0.010 −0.023	
	极限偏差 g6	−0.007 −0.020		−0.009 −0.025					−0.010 −0.029	
H		20		25		35				45
		25		35		45				60
		35		45		55		60		80
l		—			6			8		
D_1（滚花前）		34	38	42	46	52	56	62	70	75

（续）

<table>
<tr><td>D_2</td><td>32</td><td>36</td><td>40</td><td>44</td><td>50</td><td>54</td><td>60</td><td>65</td><td>70</td></tr>
<tr><td>D_3
（滚花前）</td><td colspan="3">—</td><td>56</td><td>60</td><td>65</td><td>70</td><td>75</td><td>80</td></tr>
<tr><td>h</td><td colspan="6">15</td><td colspan="3">18</td></tr>
<tr><td>m</td><td>13</td><td>15</td><td>17</td><td>18</td><td>21</td><td>23</td><td>26</td><td>30</td><td>32</td></tr>
<tr><td>m_1</td><td colspan="3">—</td><td>23</td><td>25</td><td>28</td><td>30</td><td>33</td><td>35</td></tr>
<tr><td>r</td><td colspan="2">1</td><td colspan="3">1. 5</td><td colspan="4">2</td></tr>
<tr><td>r_1</td><td>22. 5</td><td>24. 5</td><td>26. 5</td><td>30</td><td>33</td><td>35</td><td>38</td><td>43. 5</td><td>46</td></tr>
<tr><td>r_2</td><td colspan="3">—</td><td>35</td><td>37</td><td>39. 5</td><td>42</td><td>46</td><td>48. 5</td></tr>
<tr><td>r_3</td><td colspan="3">9</td><td colspan="4">11</td><td colspan="2">12. 5</td></tr>
<tr><td>r_4</td><td colspan="3">—</td><td colspan="6">2</td></tr>
<tr><td>t</td><td colspan="3">—</td><td colspan="6">1. 5</td></tr>
<tr><td>a</td><td colspan="2">0. 5</td><td colspan="7">1</td></tr>
<tr><td>b</td><td colspan="2">2</td><td colspan="5">3</td><td colspan="2">4</td></tr>
<tr><td>c</td><td colspan="6">1</td><td colspan="3">1. 5</td></tr>
<tr><td>C_1</td><td colspan="2">1. 5</td><td colspan="5">2</td><td colspan="2">2. 5</td></tr>
<tr><td>配用螺钉</td><td colspan="3">M8 ×8
GB/T830—1988</td><td colspan="4">M10 ×8
GB/T830—1988</td><td colspan="2">M12 ×8
JB/T8046. 3
—1999</td></tr>
</table>

（续）

d	基本尺寸	55	60	70	80	90	100	120	160
	极限偏差H6	+0.019 0				+0.022 0			+0.025 0
	极限偏差H7	+0.030 0				+0.035 0			+0.040 0
D	基本尺寸	65	75	85	100	110	120	145	185
	极限偏差g5	−0.010 −0.023		−0.012 −0.027				−0.014 −0.032	−0.015 −0.035
	极限偏差g6	−0.010 −0.029		−0.012 −0.034				−0.014 −0.039	−0.015 −0.044
H		45		60		80		100	125
		60		80		100		125	160
		80		100		125		160	200
l		8							
D_1（滚花前）		80	90	105	120	130	140	165	220

（续）

D_2	75	85	100	115	125	135	160	210
D_3（滚花前）	85	90	105	120	130	140	165	220
h	18							
m	35	40	47	54	58	65	75	105
m_1	38							
r	2	3					4	
r_1	48. 5	53. 5	61	68. 5	75. 5	81	93	121
r_2	51							
r_3	12. 5				16			
r_4	2		2. 5					
t	1. 5		2					
a	1							
b	4							
c	1. 5							
C_1	2. 5						3	

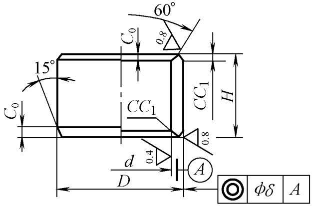
（续）

配用螺钉	M12 ×8 JB/T8046. 3—1999	M16 ×8 JB/T8046. 3—1999

注：1. d 或 D 的公差带，d 与镗杆外径或 D 与衬套内径的配合间隙也可由设计确定。
2. 当 d 的公差带为 H7 时，d 孔的表面粗糙度为 $Ra0.4\mu m$。
3. 材料：20 钢按 GB/T699—1999《优质碳素结构钢技术条件》；
HT200 按 GB/T9439—1988《灰铸铁件》。
4. 热处理：20 钢，渗碳深度为 0. 8 ~1. 2mm，硬度为 55 ~60HRC；
HT200 粗加工后进行时效处理。
5. d 的公差带为 H6 时，当 $D < 85mm$，$\delta = 0.005mm$；$D \geqslant 85mm$，$\delta = 0.01mm$；d 的公差带为 H7 时，$\delta = 0.010mm$。
6. 油槽锐角磨后倒钝。
7. 其他技术条件按 JB/T8044—1999《机床夹具零件及部件　技术条件》。

表 6-17　镗套用衬套（JB/T8046. 2—1999）

（单位：mm）



标记示例：
$d = 32mm$，公差带为 H6；$H = 25mm$ 的镗套用衬套；
衬套　32H6 ×25　JB/T8046. 2—1999

（续）

<table>
<tr><td rowspan="3">d</td><td>基本尺寸</td><td>25</td><td>28</td><td>32</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td><td>50</td><td>55</td><td>60</td></tr>
<tr><td>极限偏差H6①</td><td colspan="2">+0.013
0</td><td colspan="5">+0.016
0</td><td colspan="2">+0.019
0</td></tr>
<tr><td>极限偏差H7①</td><td colspan="2">+0.021
0</td><td colspan="5">+0.025
0</td><td colspan="2">+0.030
0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">D</td><td>基本尺寸</td><td>30</td><td>34</td><td>38</td><td>42</td><td>48</td><td>52</td><td>58</td><td>65</td><td>70</td></tr>
<tr><td>极限偏差n6</td><td>+0.028
+0.015</td><td colspan="4">+0.033
+0.017</td><td colspan="4">+0.039
+0.020</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">H</td><td colspan="2">20</td><td colspan="2">25</td><td colspan="4">35</td><td>45</td></tr>
<tr><td colspan="2">25</td><td colspan="2">35</td><td colspan="4">45</td><td>60</td></tr>
<tr><td colspan="2">35</td><td colspan="2">45</td><td colspan="2">55</td><td colspan="2">60</td><td>80</td></tr>
<tr><td colspan="2">C_0</td><td>2</td><td colspan="6">2.5</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">C_1</td><td colspan="3">0.6</td><td colspan="6">1</td></tr>
</table>

（续）

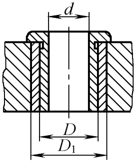
<table>
<tr><td rowspan="3">d</td><td>基本尺寸</td><td>65</td><td>75</td><td>85</td><td>100</td><td>110</td><td>120</td><td>145</td><td>185</td></tr>
<tr><td>极限偏差 H6①</td><td colspan="2">+0.019
0</td><td colspan="4">+0.022
0</td><td>+0.025
0</td><td>+0.029
0</td></tr>
<tr><td>极限偏差 H7①</td><td colspan="2">+0.030
0</td><td colspan="4">+0.035
0</td><td>+0.040
0</td><td>+0.046
0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">D</td><td>基本尺寸</td><td>75</td><td>85</td><td>100</td><td>115</td><td>125</td><td>135</td><td>160</td><td>210</td></tr>
<tr><td>极限偏差 n6</td><td>+0.039
+0.020</td><td colspan="3">+0.045
+0.023</td><td colspan="3">+0.052
+0.027</td><td>+0.060
+0.031</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">H</td><td colspan="2">45</td><td colspan="2">60</td><td colspan="2">80</td><td>100</td><td>125</td></tr>
<tr><td colspan="2">60</td><td colspan="2">80</td><td colspan="2">100</td><td>125</td><td>160</td></tr>
<tr><td colspan="2">80</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2">125</td><td>160</td><td>200</td></tr>
<tr><td colspan="2">C_0</td><td colspan="6">3</td><td colspan="2">4</td></tr>
<tr><td colspan="2">C_1</td><td colspan="5">2</td><td colspan="3">2.5</td></tr>
</table>

注：1. 材料：20 钢，按 GB/T699—1999《优质碳素结构钢技术条件》。
2. 热处理：渗碳深度为 0.8 ~ 1.2mm，硬度为 58 ~ 64HRC。
3. d 的公差带为 H6 时，当 $D<52$mm，$\delta=0.005$mm；当 $D\geqslant52$mm，$\delta=0.010$mm。d 的公差带为 H7 时，$\delta=0.010$mm。
4. 其他技术条件按 JB/T8044—1999《机床夹具零件及部件 技术条件》。

① H6 或 H7 为装配后公差带，零件加工尺寸需由工艺决定。

（3）固定衬套、镗套等配合公差（表 6-18）

表 6-18　固定衬套、镗套等配合公差

结构简图	工艺方法		配合公差代号		
			d	D	D_1
	钻孔	刀具切削部分引导	$\frac{F8}{h6}$、$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{s6}$、$\frac{H7}{r6}$、$\frac{H7}{n6}$
		刀具柄部或接杆引导	$\frac{H7}{f7}$、$\frac{H7}{g6}$		
	铰孔	粗铰	$\frac{G7}{h6}$、$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{r6}$、$\frac{H7}{n6}$
		精铰	$\frac{G6}{h5}$、$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{g5}$、$\frac{H6}{h5}$	
	镗孔	粗镗	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{h6}$	
		精镗	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{g5}$、$\frac{H6}{h5}$	

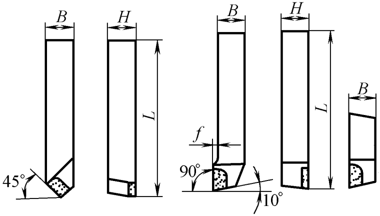
二、镗刀

1. 单刃镗刀

（1）普通单刃镗刀（表 6-19）

（2）机夹单刃镗刀（表 6-20）

表 6-19　普通单刃镗刀　　（单位：mm）



$B \times H$	L	f
8×8	25～40	2
10×10	30～50	
12×12	50～70	
16×16	70～90	4
20×20	80～100	

（3）弯头镗刀(表 6-21)

（4）小孔镗刀(表 6-22)

2. 双刃镗刀

双刃镗刀块分整体和可调两大类，装夹方式有定装和浮动装两种形式。

（1）整体式双刃镗刀块

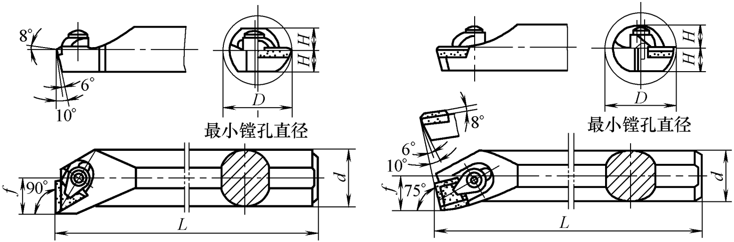
图 6-1 所示为常用整体双刃式镗刀块，尺寸不可调节，在镗杆上安装固定时，两切削刃与镗杆中心的对称度主要取决于镗刀块的制造和刃磨精度。适用于粗加工和半精加工。

整体式双刃镗刀块尺寸见表 6-23。

（2）可调双刃镗刀块

表 6-20　机夹单刃镗刀

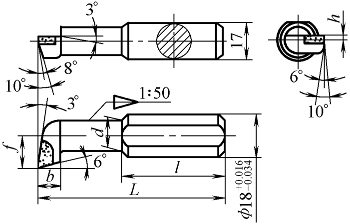
（单位：mm）



d	L	f	H	D 最小镗孔直径	刀片内切圆	
					三角形	四方形
16	200	11	7	20	6.35	9.525
20	250	13	9	25		
25	300	17	11	32	9.525	12.70
32	350	22	14	40		

注：根据条件和用途，刀片形状和长度 L 可自定。

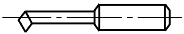
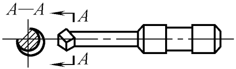
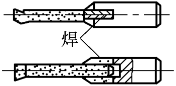
表 6-21　弯头镗刀　　（单位：mm）



L	*l*	*d*	*f*	*b*	*h*
70	45	8	7	7	2
80		11	10		
90	50	14	12	9	1. 5
		16	15	10	
100		17	18	14	1
125			20		

注：如用高速钢制作，杆部 *l* 可用 45 钢，与 *d* 交接处采取对焊。

表 6-22　小孔镗刀

类型	弯头镗刀	铲背镗刀	整体硬质合金镗刀
简图			
特点	制造简单、刃磨方便	刀头后面为阿基米德螺旋面，刃磨时只需磨前面	刀头、刀体采用整体硬质合金与钢制刀杆焊在一起，刚性好

注：小孔镗刀适用于直径不大于 10mm 的小孔。

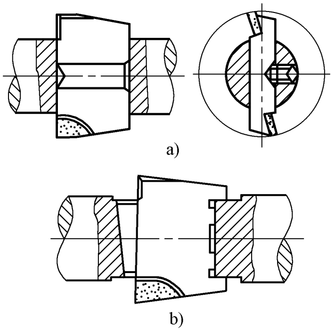
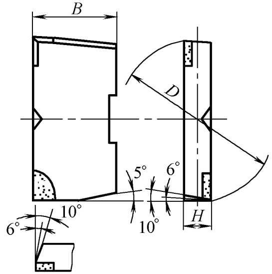


图 6-1　整体式双刃镗刀块

图 6-2 所示为可调双刃镗刀块的调节和装夹方法，镗刀 7 用螺钉 8 调节，拧紧螺母 3 与螺钉 5 的圆锥体即推动滑块 4 使其夹紧。整个镗刀块 6 则以螺钉 1 顶紧楔销 2 而固定。为了较快地取出镗刀块，只要将螺钉略有

表 6-23　整体式双刃镗刀块尺寸（单位：mm）



（续）

公称直径 *D*	*B*	*H*	公称直径 *D*	*B*	*H*
25～30	20	8	100～105	35	14
30～35			105～110		
35～40			110～115		
40～45	30	10	115～120		
45～50			120～125		
50～55	35	12	125～130		
55～60			130～135		
60～65			135～140		
65～70			140～145		
70～75			145～150		
75～80			150～155		
80～85			155～160		
85～90			160～165		
90～95			165～170		
95～100			170～175		

松动，取去垫块 9 即可取出。这种镗刀块适用于半精加工和精加工，为保证镗杆、镗刀块有较好的强度，其镗杆直径应大于 35mm，镗孔直径为 50～260mm。

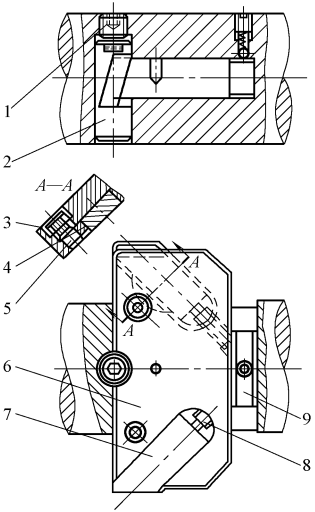


图 6-2　可调双刃镗刀块

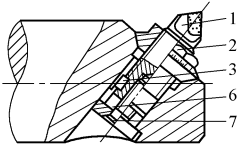
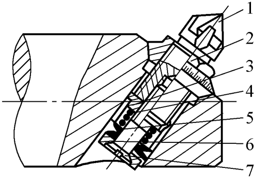
1、5、8—螺钉　2—楔销　3—螺母
4—滑块　6—镗刀块　7—镗刀　9—垫块

3. 微调镗刀

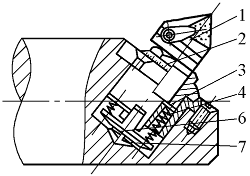
微调镗刀多用于坐标镗床和数控机床。它具有结构简单、调节方便和调节精度高等优点。适用于孔的半精镗和精镗加工。

微调镗刀的结构形式与安装见表6-24。

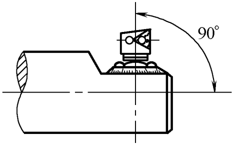
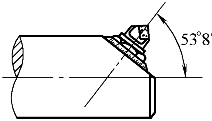
表6-24　微调镗刀的结构形式与安装

结构与安装	图　　示	说　　明
结构形式		结构是用螺钉、垫圈将刻度盘拉紧。当调节尺寸时，先将螺钉松开，然后转动刻度盘，使刀头调节到所需尺寸，再拧紧螺钉。此结构简单，刚性较好，但调节不便
		该结构增加了三个碟形弹簧，其作用可使螺纹的一边相互紧贴（消除间隙），同时可在它允许的弹性变形范围内调节刀头，而不需要每次调节都去松紧螺钉，故调节方便

（续）

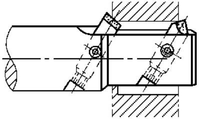
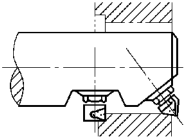
结构与安装	图　示	说　明
结构形式	 1—刀头　2—刻度盘　3—键 4—弹簧　5—碟形弹簧 6—垫圈　7—螺钉	结构是以 4 个均布弹簧的预紧力使螺纹的一边相互紧贴（消除间隙），调节范围较大，但弹簧的预紧力随调节量而变化，即尺寸调得越大，预紧力越大；反之则小

（续）

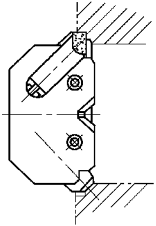
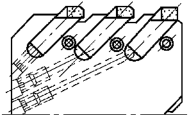
结构与安装	图　　示	说　　明
安装形式		直角形
		倾斜形。交角通常为 53°8′，因为 53°8′的正弦值为 0.8，在刻度盘上标注刻线方便，读数直观

4. 复合镗刀的形式及应用范围（表 6-25）

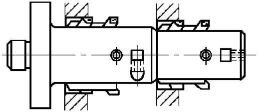
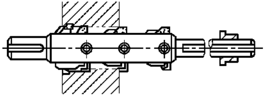
表 6-25　复合镗刀的形式及应用范围

名称	图　　示	应用范围
镗通孔、倒角复合镗刀		在刀杆上安装两把单刃镗刀，用以加工通孔和倒角
镗通孔、锪止口复合镗刀		在刀杆上安装两套微调镗刀，用以加工阶梯孔或通孔、锪止口

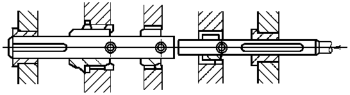
（续）

名称	图　　示	应用范围
锪止口、倒角镗刀块		双刃镗刀块用以锪止口和倒角
粗、精镗六刃镗刀块		可加工阶梯孔和通孔，在加工通孔时，能切除较大的余量

（续）

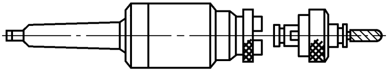
名称	图　　示	应用范围
双孔粗、精镗复合镗刀		在专用镗杆上安装两把单刃镗刀和两个四刃镗刀块，可以一次加工完成两个不同直径的通孔
单孔粗、精镗复合镗刀		在专用镗杆上安装两个双刃镗刀块和一个四刃镗刀块，镗杆一端用导套支承，可以一次加工完成通孔或阶梯孔

（续）

名称	图　　示	应用范围
三孔精镗复合镗刀		在专用镗杆上安装两个双刃镗刀块和一个四刃镗刀块，镗杆两端用导套支承，可以一次加工完成三个通孔，并在一个孔上锪止口和倒角

5. 镗床用攻螺纹夹头（表6-26）

表6-26　攻螺纹夹头　（单位：mm）

	锥柄	攻螺纹范围	浮动量
	莫氏2、3号	M3 ~ M12	前浮15 后浮5
	莫氏4号	M12 ~ M24	前浮20 后浮8
	7:24—ϕ44.45	M3 ~ M12	前浮15 后浮5
	7:24—ϕ69.85	M12 ~ M24	前浮20 后浮8

三、卧式镗床加工

1. 卧式镗床的加工精度（表 6-27）

表 6-27 卧式镗床的加工精度

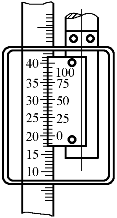
加工方式	加工精度/mm		表面粗糙度 *Ra*/μm		
	孔径公差	孔距公差	铸铁	钢（铸钢）	铜铝及其合金
粗镗	H12 ~ H10	±0.5 ~1.0	12.5 ~25	25	12.5 ~25
半精镗	H9 ~ H8	±0.1 ~0.3	6.3 ~12.5	12.5 ~25	6.3 ~12.5
精镗	H8 ~ H6①	±0.02 ~0.05	1.6 ~3.2	1.6 ~6.3	0.8 ~3.2
铰孔	H9 ~ H7	±0.02 ~0.05	1.6 ~3.2	1.6 ~3.2	0.8 ~3.2

① 当加工精度为 H6 及表面粗糙度 *Ra*0.8μm 以上的孔时，需采取相应措施。

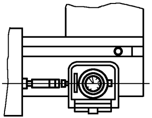
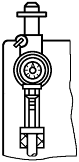
2. 卧式镗床的基本定位方法

（1）主轴轴线与所镗孔轴心线的重合方法（表6-28）

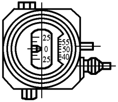
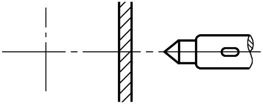
表6-28　主轴轴线与所镗孔轴心线的重合方法

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
机床坐标定位	游标尺定位		±0.08	机床上的游标尺，主尺刻线值为1mm，副尺为1/20mm，读数精度为0.05mm，装有放大镜。适用于一般定位精度

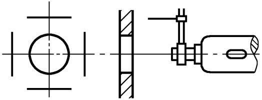
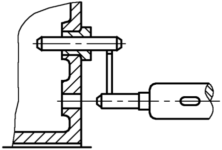
（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
机床坐标定位	指示表、量块定位	 *x*方向  *y*方向	±0.03	用指示表、量块进行测量定位，万能性强，操作难度大，辅助时间长，是卧式镗床采用的基本定位方式

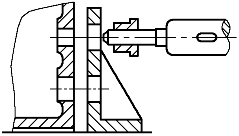
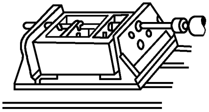
（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
机床坐标定位	金属线纹尺和光学读数头定位		±0.02	金属线纹尺精度稳定可靠，读数精度为0.01mm。适用于单件和中小批生产
工艺定位	顶尖找正定位		±0.3	先找好工件的水平和垂直位置，然后用安装在主轴孔中的顶尖找孔中心。适用于单件生产

（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度 /mm	特点和 适用范围
工艺定位	划针找正定位		±0.5	在主轴上装一划针，转动主轴，使指针对准工件上两对平行线与中心线的 4 个交点即可。适用于单件生产
	孔距测量定位		±0.03	用心轴、量具测量定位，镗好一孔后，利用该孔直接测量另一孔的距离，直观准确。适用于单件小批生产

（续）

类别	定位方式	简　　图	定位精度/mm	特点和适用范围
工艺定位	按模板找正定位		±0.02	利用心轴使主轴中心与模板上的导套孔中心对准，也可用指示表找正，定位可靠，但要求有一定的操作经验。适用于批量生产
	夹具定位		±0.02	工件孔位置精度靠夹具保证，主轴与镗杆一般采用浮动连接，加工前只要将夹具位置安装准确即可。适用于大中批生产

（2）主轴轴心线与后立柱刀杆支架轴心线重合方法

在镗削较深孔时，镗刀杆和主轴需要伸出较大的长度才能进行加工。为保证加工工艺系统的刚度，需要将镗刀杆支承在后立柱刀杆支架上，即把悬伸镗削变为支承镗削。

这种支承镗削，只有在主轴轴心线与所镗孔轴心线重合（即完成镗刀杆定坐标）之后，才可找准后立柱刀杆支架轴心线与主轴轴心线的重合度。

在加工轴心线分布较复杂的孔系时，可用两种方法找准刀杆支架轴心线与主轴轴心线的重合度。

第一，加工第一条轴心线上的孔，用直接找准法。

第二，加工其余各条轴心线上的孔，则用间接找准法。间接找准法又分为：垂直轴剖面内间接找准法与水平轴剖面内间接找准法两种。

主轴轴心线与后立柱刀杆支架轴心线重合方法举例见表 6-29。

3. 导向装置布置的形式与特点（表 6-30）

4. 工件定位基准及定位方法（表 6-31）

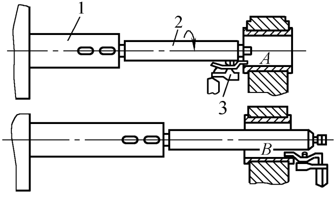
5. 镗削的基本类型及加工精度分析

在卧式镗床上镗削加工，有两种基本类型，一种是用端镗刀杆的悬伸镗削；另一种是用后立柱刀杆支架或中间支承架支承镗刀杆的镗削。这两种镗削完成的进给方式又分为：主轴送进的镗削与工作台送进的镗削。

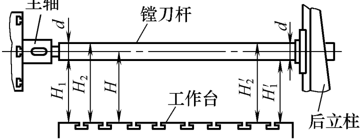
（1）悬伸镗削基本方式及加工精度分析（表 6-32）

（2）支承镗削基本方式及加工精度分析（表 6-33）

表 6-29　主轴轴心线与后立柱刀杆支架轴心线重合方法举例

类别	方式	简　　图	说　　明
直接找准法	用镗床主轴和刀杆直接找准的方法	 1—主轴　2—刀杆（或心轴） 3—指示表测量装置	这种方法能使镗床后立柱刀杆支架的轴心线与主轴轴心线在水平轴剖面内，具有较高的同轴度。但是随着主轴和刀杆单臂悬伸长度的增加，其挠度（弯曲变形）增大，因而，降低了后立柱刀杆支架轴心线与主轴轴心线在垂直轴剖面内的同轴度。为减少这种挠度造成的误差，一般应采用最短的刀杆（或心轴），以全部利用主轴的伸出长度。采用特制的空心心轴，并保证心轴锥柄与主轴锥孔的配合精度

（续）

类别	方式	简图	说明
间接找准法	在垂直剖面内间接找准法		这种方法是用内径百分尺或游标高度尺，在垂直轴剖面内来找准后立柱刀杆支架轴心线与主轴轴心线的重合度 先在镗刀杆的一端（靠近主轴）测量出 H_1 或 H_2 尺寸（H 为镗刀杆轴心线到工作台面（或底板）的指定距离）。然后在镗刀杆的另一端（靠近刀杆支架）测量 H'_1 或 H'_2 的尺寸。根据所测得的两端尺寸，用下列公式计算： $H = H_1 + \frac{d}{2}$； $H = H_2 - \frac{d}{2}$ 最终要使两端所测尺寸一致

（续）

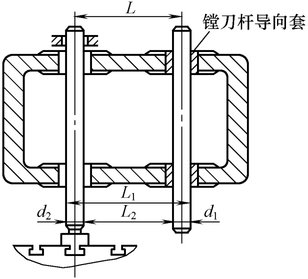
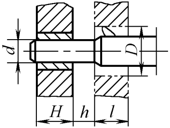
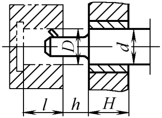
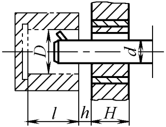
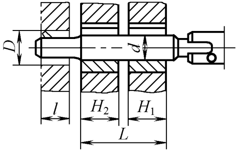
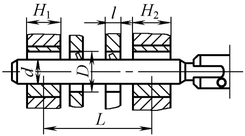
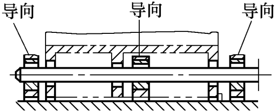
类别	方式	简　　图	说　　明
间接找准法	在水平剖面内间接找准法		这种方法主要用于同平面的平行孔系的第二个孔和其余各孔轴心线的定坐标。由于第一个孔已加工完，因此，后立柱刀杆支架轴心线已与主轴轴心线同轴。在加工第二个孔和其余各孔时，不需再定垂直轴剖面内的坐标（高度坐标），只要用检验棒定镗刀杆轴心线在水平轴剖面（侧向位置）内的坐标即可 测量调整两端 L（两孔中心距离）值相等 $L=L_1-\dfrac{d_1}{2}-\dfrac{d_2}{2}$ 或 $L=L_2+\dfrac{d_1}{2}+\dfrac{d_2}{2}$

表 6-30　导向装置布置的形式与特点

形式	简　　图	特　　点
单面前导向		适用于 $D>60$mm，$l<D$ 的通孔，因为 $d<D$，换刀方便，加工不同直径的孔时，不用更换镗套。$h=(0.5\sim1)D$，以便排屑
单面后导向		适用于加工 $l<D$，且孔距精度要求高的孔，刀杆刚性好，换刀时不用更换镗套（卧镗 $h=60\sim100$mm，立镗 $h=20\sim40$mm）
		因为 $d<D$，所以在加工 $l>D$ 的长孔时，镗杆能进入被加工的孔中，镗杆的悬伸量短，有利于缩短镗杆长度（卧镗 $h=60\sim100$mm，立镗 $h=20\sim40$mm）

（续）

形式	简　　图	特　　点
单面双导向		镗杆与机床主轴浮动连接，可减少机床主轴精度对工件精度的影响。更换镗杆和装卸刀具方便，$L \geqslant (1.5 \sim 5)\ l$，$H_1 = H_2 = (1 \sim 1.2)\ D$
双面单导向		适用于镗 $l > 1.5D$，且在同一轴线上有两个以上的孔，能精确地保证各孔之间的同轴度，但两导向支架间距 L 应控制在 $10d$ 左右
中间导向		工件在同一轴线上有两个以上的孔，且镗杆支承距 $L > 10d$ 时，应考虑增加一个中间导向装置。图示装置为立置，适用于安装面敞开的工件

（续）

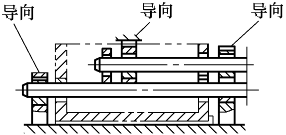
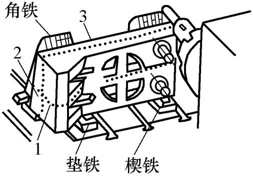
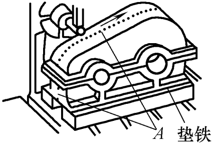
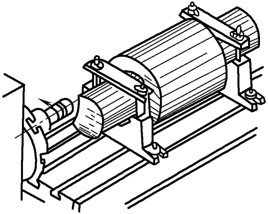
形式	简　　图	特　　点
中间导向		条件基本同上。图示装置为悬置，适用于安装面封闭的工件

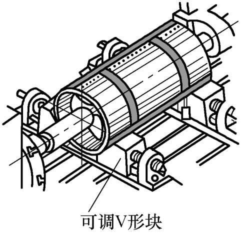
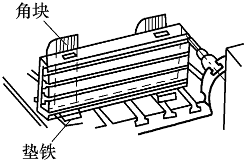
表 6-31　工件定位基准及定位方法

定位基准	简　　图	方法说明
工件未经加工		工件未经加工，工件安装在镗床上配置的垫铁和角铁上，可用楔铁调整，按划线1、2、3进行校正

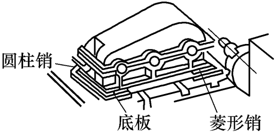
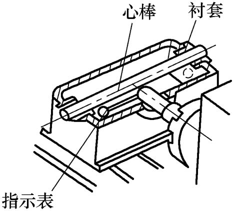
（续）

定位基准	简　　图	方法说明
工件用一个已加工面作为定位基准		将工件已加工的底平面安装在镗床上配置的长条垫铁上，按划线 A 进行校正
工件用直径相同的两个轴颈作为定位基准		工件装在固定的 V 形架上，首件加工时需找正 V 形架，以后各件加工不需找正

（续）

定位基准	简　　图	方法说明
工件用直径不相同的两个轴颈作为定位基准		工件用前、后两个不同的轴颈作定位基准，将该轴颈安装在可调整的 V 形架上，按划线进行校正。如定位精度要求较高，也可用指示表测上母线和侧母线进行校正
工件用两个已加工面作为定位基准		将配置在镗床上的垫铁和角铁预先校正好，然后将工件两个已加工面作为基准，安装在垫铁上，并紧靠角铁即可

（续）

定位基准	简　　图	方法说明
工件用一个已加工面及两个定位孔作为定位基准		将镗床上配置的带有两个定位销的底板（亦即夹具），预先校正好，然后将工件的一个已加工面和两个相应的定位孔作为基准，装到夹具上即可
工件用一个已加工面及已镗好的通孔作为定位基准		在没有配置精密回转工作台的镗床上加工垂直孔，可按已镗好的两个孔作为定位基准，穿入心棒，用指示表校正工件位置，以保证两孔轴线垂直

（续）

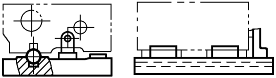
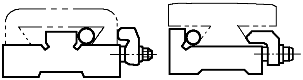
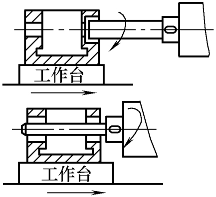
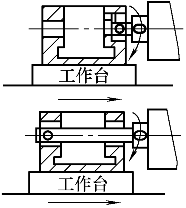
定位基准	简　　图	方法说明
工件用V形导轨面和平导轨面为定位基准		这种方法多用于箱体工件，选用装配基准面作定位基准，这样可以减少或避免因定位基准的转换而引起的误差，因此定位可靠，精度高
工件用平面与燕尾导轨面作为定位基准		这种方法多用于箱体工件，选用装配基准面作定位基准，可消除燕尾导轨角度误差引起的定位误差

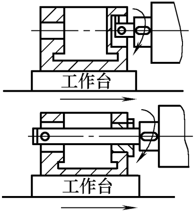
表 6-32　悬伸镗削基本方式及加工精度分析

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进；加工同轴孔系时，主轴和镗刀杆的悬伸长度不变；镗刀杆不用导向套		1）孔系轴心线的直线度，取决于工作台纵向送进方向的直线度大小 2）主轴和镗刀杆在本身重力和切削力的作用下,产生的挠度改变了镗刀的坐标位置(镗刀下垂),从而改变了孔轴心线的坐标位置。但是,由于工作台做送进运动,因此,不论工作台移动到任何位置,这种改变都不会使孔轴心线弯曲,因而,这种改变是一定的 3）孔的圆柱度与床身导轨和主轴轴心线的相对位置精度无关,故镗出的孔径是一定的 4）由于镗刀杆只固定了一端,刀具系统的刚度较低,因此这种加工方式特别适用于镗浅孔

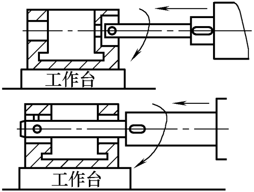
（续）

镗削方式	简　　　图	精度分析
工作台送进；主轴悬伸量一定，但镗同一轴线上的各孔时，所用镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆），镗刀杆不用导向套		1）若工作台导轨是直的，那么镗出各孔的轴心线也是直的 2）主轴悬伸长度一定，因此其挠度一定，即主轴对孔系轴心线直线度的影响是一定的 3）镗第二孔时，由于换了长刀杆，因此，其挠度比镗第一孔时所用的短刀杆挠度大，这样，同一轴心线各孔的同轴度误差增大 4）虽然长、短刀杆的挠度不同，但这两个刀杆上的镗刀相对于工作台进给运动的坐标位置（下垂量）是一致的，即各自挠度是一定的，也就是说，各自的刚度不变，因此，不会影响每个孔轴心线的直线度，同时也不影响每个孔的圆柱度 5）这种加工方式镗第一孔时，采用了刚度较大的短刀杆，因此，可用较大的切削用量，其生产效率较高；镗第二孔时由于使用了长刀杆，因此其生产效率（比镗第一孔时）降低 6）适用于加工轴心线同轴度要求不太高、且是较浅的同轴孔系

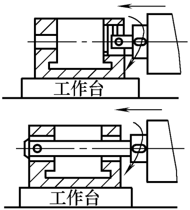
（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进；主轴的悬伸长度一定，但镗同一轴心线上的各孔时，所用的刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换为长刀杆），从加工第二孔开始，在先前加工过的孔内，安装镗刀杆的导向套		1）如果工作台导轨是直的，那么，第一孔轴心线也是直的 2）第二孔轴心线的直线度，不但取决于工作台导轨的直线度，而且还取决于长刀杆的直线度。因为镗刀杆在导向套内作轴向移动时，镗刀运动轨迹重复了刀杆的曲线形状，从而使孔轴心线随之产生了直线度误差。另外，孔轴心线的直线度，还取决于刀杆从导向套端面算起的悬伸长度、刀杆与导向套的间隙大小、刀杆在主轴上的夹持刚度等。按这种方式加工，为保证加工精度，则需要很精密的镗刀杆 3）镗第二孔时，镗刀随着刀杆悬伸长度的增加，其刚度随之变坏，镗刀在不同加工位置上的切削变形也不同。镗刀在开始镗孔的位置上，孔的变形误差最小，但镗到孔末端时，孔的变形误差最大。这种变形误差，往往使孔口前端小，后端大 4）采用导向套，除增加刀具系统的刚度外，还起消振作用，从而能提高生产效率 5）这种加工方式适用于轴心线同轴度要求较高的孔系

（续）

镗削方式	简　　　　图	精度分析
主轴送进；镗同轴孔系时，镗刀杆的长度一定，镗刀杆不用导向套		1）在切削力作用下，孔的直径尺寸精度和形状精度随主轴悬伸长度的增加和主轴刚度的下降而降低 2）主轴因本身重量产生的挠度，随主轴悬伸长度增加而增大，因此增大了孔系轴心线的直线度误差 3）被加工孔直径比主轴直径小时，只好采用细长镗刀杆。因而，工件不得不装在离主轴端面远些的位置（至少要等于刀杆长度的位置）上。镗削时，随着主轴送进、主轴和刀杆悬伸长度的不断增加，刀具系统的刚度变得越来越坏，降低了镗削精度。这种加工方式的不利因素较多，因此，一般情况下采用较少。它只用于工作台不能作纵向移动的镗床，或在没有工作台的镗床上镗孔

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
主轴送进；镗同一轴心线上的各孔时，所用的镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆再加工第二孔），镗刀杆不用导向套		这种方式主要用于工作台不能作纵向移动的镗床，或在没有工作台的镗床上镗孔。这种镗孔方式对加工精度的影响，虽然与上一种方式基本相同，但由于其刀具系统刚度较高，因此其加工精度和生产效率都比上一种方式高

（续）

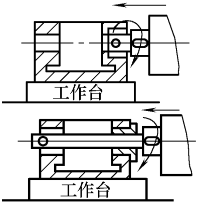
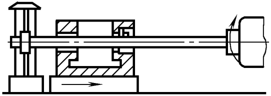
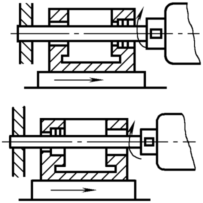
镗削方式	简　　图	精度分析
主轴送进;镗同一轴心线上各孔时,所用的镗刀杆长度不同(第一孔加工后,将短刀杆换成长刀杆),从第二孔开始,在已加工过的孔内装上导向套		这种加工方式由于增加了镗刀杆导向套,与上一种加工方式相比,其刀具系统的刚度较大、抗振性较好,因此这种方式的镗孔精度较好

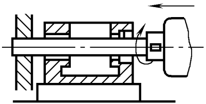
表 6-33　支承镗削基本方式及加工精度分析

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进；加工同轴孔系时，镗刀杆长度一定		1）这种镗孔方式使用的镗刀杆长度一般是工件长度的 2 倍，但镗刀杆刚度比悬伸镗削方式的刚度大，而且镗刀杆挠度是悬伸镗削方式镗刀杆的 1/2 2）由于工作台送进，镗刀杆在轴向内固定不动。这样镗刀杆的形状误差、后立柱刀杆支架轴心线与主轴轴心线的重合度误差，对镗孔精度的影响是不大的。虽然，镗刀杆的弯曲影响镗刀的径向位置，但这种影响在孔的全长上是一样的 3）该镗孔方式比悬伸镗削更适合于加工精度较高、较深的孔系

（续）

镗削方式	简　　图	精度分析
工作台送进，加工同轴孔系时，只用一根镗刀杆，并且在镗刀杆的不同部位上安装镗刀		这种加工方式所使用的镗刀杆可以在不同的部位上安装镗刀，因此镗刀杆长度大大缩短（比工件长度大一些就可以了）。这种镗孔方式的镗刀杆刚度比上一种镗孔方式的镗刀杆刚度还大。所以，更适合加工较深的孔系。这种方法生产效率较高，应用较广泛 缺点是镗刀杆在各点上的挠度不同，镗刀杆上不同部位的镗刀径向圆跳动也不同，因此加工出的孔系轴心线有一些弯曲

（续）

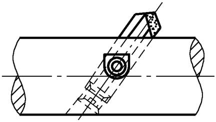
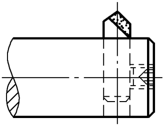
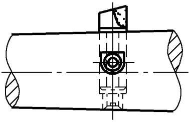
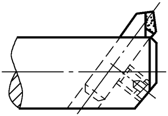
镗削方式	简　　图	精度分析
主轴送进，随着主轴伸出长度的增加，镗刀杆的工作长度相对缩短（一部分工作长度悬伸出后立柱杆支架的外部）		1）这种镗孔方式，其刀具系统的刚度比前面几种镗孔方式的刀具系统刚度大得多，而且引起振动的可能性很小。因此，可用宽切削刃镗孔，并可同时用几把刀镗削。适用于细长同轴孔系的加工。其生产效率较高 2）镗刀杆因本身重量引起的挠度，使镗刀产生径向圆跳动，其跳动的大小和镗刀所在的位置有关。镗刀在两支承的中间时，跳动最大。当逐渐移向支承架时，跳动随之减少；移至支承处时，跳动为零。这样使孔系轴心线产生弯曲 3）在切削力的作用下，镗刀杆各处产生的挠度是不同的。因此，不同位置上的镗刀，其径向圆跳动也不同，结果使同一次调整好的镗刀镗出的孔径不一样。一般，镗刀杆支承处的孔径要大一些 4）加工出的孔径虽有变化，但孔是圆的。直径误差的大小，取决于切削力的大小 5）如果镗刀杆精度高，中间支架及后立柱刀杆支架轴心线调整准确，轴承间隙相当，就可以提高孔系轴心线的直线度精度

6. 基本的镗削方法

（1）镗刀安装与对刀

1）单刃镗刀的装夹方式及用途（表 6-34）

表 6-34　单刃镗刀的装夹方式及用途

装夹方式	用途
	用于镗通孔
	用于镗通孔
	用于镗阶梯孔
	用于镗不通孔

2）镗刀块的安装。镗刀块与镗刀杆的安装应成垂直状态。镗刀块与镗刀杆矩形孔的配合精度一般为$\frac{H7}{h6}$或$\frac{H7}{g6}$，镗刀杆矩形孔对轴线的垂直度和对称度应小于0.01mm，表面粗糙度为Ra0.4～0.2μm。镗刀块各面平行度误差一般控制在0.005mm以内。镗杆矩形孔精度要求见图6-3，镗刀块在镗刀杆上的安装位置见图6-4。

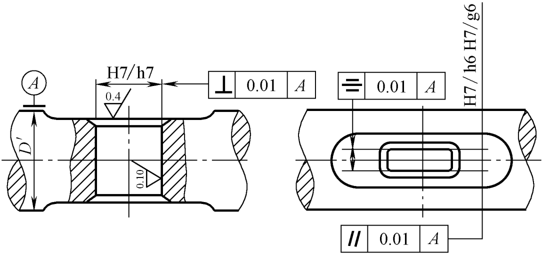


图6-3　镗杆矩形孔精度

3）对刀。对刀（即校正刀尖伸出量）可用对刀表座（图6-5）。表座是一V形体，以V形面放置在镗轴上，用指示表的测量头顶在刀夹上，调整指示表零位，通过敲刀头来测量调整刀尖尺寸位置。对刀时应注意V形基准面要紧贴在镗杆上，不能倾斜测量，指示表测量头不可与刀尖剧烈摩擦。

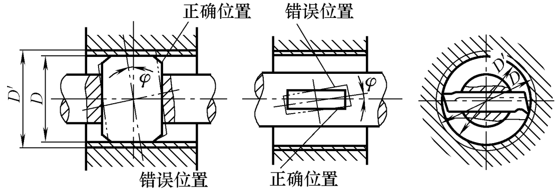


图 6-4　镗刀块安装位置

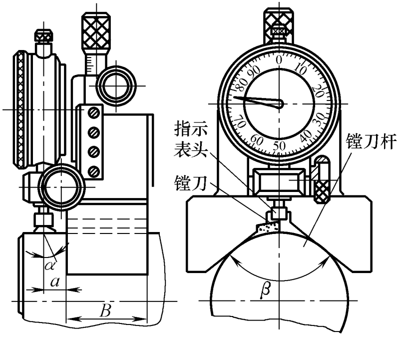


图 6-5　对刀表座

（2）粗镗、精镗

粗镗主要是对工件的毛坯孔（铸造孔）面或对钻、扩后的孔进行初加工，即采用较大的镗削用量（主要是背吃刀量 a_p 和进给量 f）切除工件表面不规则的硬层部分，为下一步半精镗、精镗加工达到要求奠定基础。

粗镗后一般单边留 2～3mm 作为半精镗和精镗孔的余量。对于精密的箱体类工件，一般粗镗后均安排回火或时效处理，消除内应力达到自然状态，最后再进行精镗。这时的精加工余量应根据毛坯精度和工件精度来确定。

采用单刃镗刀进行粗镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o=5°\sim10°$；后角 $\alpha_o=3°\sim8°$；主偏角 $\kappa_r=60°$；副偏角 $\kappa_r'=10°\sim15°$；刃倾角 $\lambda=0°\sim4°$。

半精镗是精镗的预备工序，主要是解决粗镗留下的余量不均匀部分。半精镗后一般留精镗余量为 0.3～0.4mm（单边），对精度要求不高的孔可直接精镗，不必增加半精镗工序。

精镗的目的是保证镗削孔的尺寸精度、孔的形状精度及较好的表面粗糙度。精镗是以较高的切削速度和较小的进给量切去前工序的较少余量，通常精镗 $a_p\geqslant0.10$mm，$f\geqslant0.05$mm/r。

采用单刃镗刀进行精镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o=8°\sim15°$；后角 $\alpha_o=5°\sim12°$；主偏角 $\kappa_r=90°$；副偏角 $\kappa_r'=0°\sim10°$；刃倾角 $\lambda=-4°\sim0°$。

铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案见表 6-35。

（3）调头镗削方法（表 6-36）

（4）垂直孔镗削方法（表 6-37）

（5）圆柱孔端面刮削方法

1）端面刮削刀杆支承方式见表 6-38。

2）圆柱孔端面刮削方法见表 6-39。

表 6-35　铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案

加工精度	在实体上加工	在铸孔或锻孔上加工	备注
IT6		粗镗（双刀）、半精镗、精镗 粗镗（双刀）、精镗（双刀）	用粗、精 4 把镗刀的方案不很稳定
IT7	1. 加工直径到 16mm 钻、铰、 钻、扩、铰 2. 加工直径大于 16mm 钻、扩、铰 钻、扩、粗铰、精铰	镗（双刀）、粗铰、精铰 扩（粗镗）、半精镗、精镗 粗镗、半精镗、精铰	
IT8	1. 加工直径到 20mm 钻、扩、铰 钻-铰复合 钻-镗复合 2. 加工直径大于 20mm 钻、扩、铰	粗镗、精镗 粗镗、精镗（双刀） 镗（三把刀） 扩、铰	在加工壁厚不大的情况下 表面粗糙度要求为 *Ra*3.2μm 时 表面粗糙度要求为 *Ra*1.6μm 时 当壁厚较薄 表面粗糙度要求为 *Ra*0.8μm 时

（续）

加工精度	在实体上加工	在铸孔或锻孔上加工	备注
IT9 ~ IT10	1. 加工直径到 25mm 钻、扩、铰 2. 加工直径大于 25mm 钻、镗 钻镗（双刀）	扩、铰 粗镗、精镗	按加工余量及表面粗糙度的要求合理选择
IT11	1. 加工直径到 30mm 钻 2. 加工直径大于 30mm 钻、扩 钻、铰	粗镗 粗镗、精镗	当表面粗糙度要求较细时

（6）圆柱孔端面铣削方法(表 6-40)

（7）镗削内、外沟槽的方法(表 6-41)

（8）外圆柱面的镗削方法(表 6-42)

7. 镗孔坐标尺寸的计算

镗孔坐标尺寸的换算,是镗削加工工艺中的重要环节之一。因为零件图样上所标注的尺寸多为孔中心距和一个坐标尺寸,不能满足加工中所需的所有坐标尺寸,因此需把孔距尺寸换算成为两个坐标尺寸,以便移动机床的主轴箱和工作台。

表 6-36　调头镗削方法

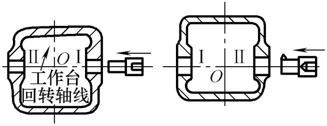
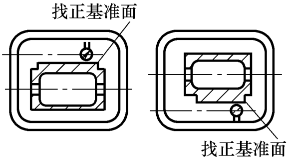
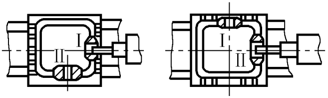
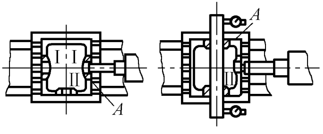
镗削方法	简　　图	说　　明
转动工作台方法	 a)　　b)	这种方法适用于中小型工件在回转工作台装置精度高的卧式镗床上使用
工件调头重新装夹方法	 a)　　b)	这种方法是利用工件基准面或工艺基准面找正,使平面与镗杆轴线平行,镗削一孔后,工件回转 180°后重新校准平面与镗杆轴线平行,这样可保证同轴孔系中心的平行度

表 6-37　垂直孔镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
回转法镗垂直孔系	 a)　　b)	利用回转工作台的定位精度，镗削垂直孔系。首先将工件安装在工作台上，按侧面或基面找正，待加工孔中心线与镗杆轴心线同轴，镗好Ⅰ孔后，将工作台逆时针回转 90°，再镗削Ⅱ孔。这种方法是依靠镗床工作台的回转精度来保证孔系的垂直度
心轴校正法镗削垂直孔系	 a)　　b)	利用已加工好的Ⅰ孔，按Ⅰ孔选配检验心轴插入Ⅰ孔，镗杆上装指示表校对心轴两端，待两端等值后，加工Ⅱ孔 另一种方法，镗出Ⅰ孔后，在一次装刀下镗出基准面 A，然后转动工作台按 A 面找正，使之与镗杆轴线平行，再镗出Ⅱ孔。这种方法比光依靠镗床工作台回转精度保证孔系的垂直度更加可靠

（续）

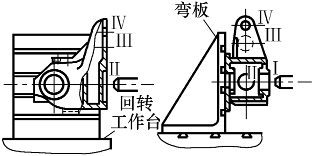
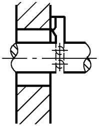
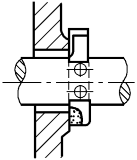
镗削方法	简　　图	说　　明
弯板与回转台结合镗垂直孔系		这种方法适用于较小的工件，在回转工作台上装夹一块弯板，将工件的基准面夹压在弯板上，同样利用回转工作台保证垂直精度。工件不仅有垂直孔，而且还有平行孔，可先加工Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ孔，转90°后再加工Ⅰ孔，也可以先加工Ⅰ孔，转90°后再加工Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ孔

表 6-38　端面刮削刀杆支承方式

支承方式	简　　图	说　　明
刀杆不加支承,直接刮削	 单刃端面刮削  双刃端面刮削	用于镗孔前的端面刮削;用于内孔较小且刮削端面也不大的孔刮削;用于已加工精度高、不能用作支承的孔的刮削

（续）

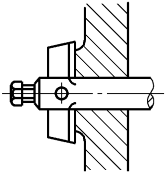
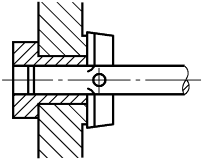
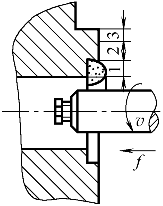
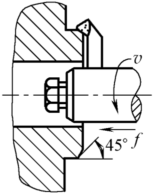
支承方式	简　　图	说　　明
利用内孔作支承刮削	 用内孔直接支承	这种方法支承部位与刀杆应有0.01mm间隙。适于内孔较大、刮削端面也比较大或悬伸刚性差的刮削加工 若镗孔精度要求高,表面质量也要求高时,最好不采用这种方法
利用衬套作支承刮削	 用衬套支承	

表 6-39　圆柱孔端面刮削方法

刮削方法	简　　图	说　　明
粗刮	 分段粗刮端面  端面外缘倒角	粗刮一般使用硬质合金刀具。若孔的端面较大,可用 90°偏刀分段切除余量;若孔的端面是凸起面,且端面外缘处较硬,可先用 45°偏刀的副切削刃将凸台外缘倒角,这样可以保护精刮时使用的高速钢刀具的寿命

(续)

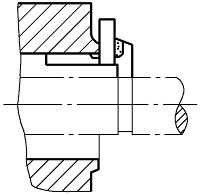
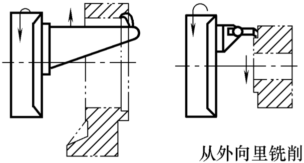
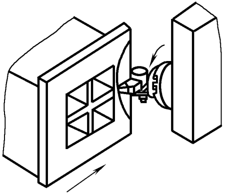
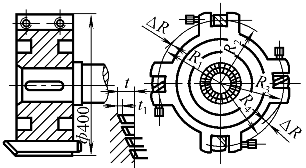
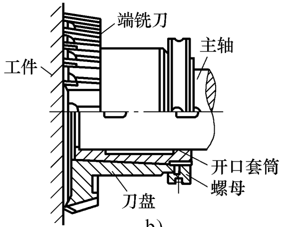
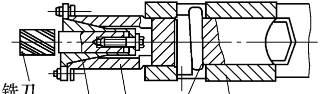
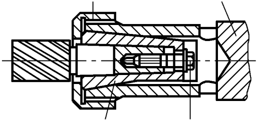
刮削方法	简　　图	说　　明
精刮	 刀具与刀杆垂直程度检查	精刮一般使用高速钢刀具,最好是双刃刀具。如果采用单刃刀具刮削,之前必须检查刀具刃口与刀杆轴线是否垂直 精刮端面由于刮刀切削刃较长,切削转矩较大,所以切削速度要低。刀具后角尽可能小些,可取4°~8°。刀杆应尽量粗些,以提高刚度。若工件的孔端面过宽,可分段刮削,但接刀处必须平整光滑

表 6-40　圆柱孔端面铣削方法

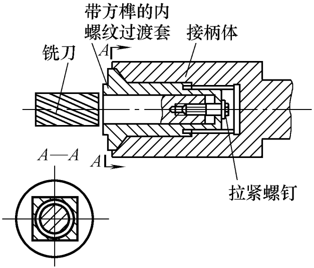
铣削方法	简　　图	说　　明
利用平旋盘进行铣削	 从里向外铣削　从外向里铣削	1）径向刀架进给方式：是由平旋盘转动，盘上的径向刀架作径向进给，铣削前，必须调整好移动刀架的齿条间隙，以保证铣削的质量。当刀架从外向里铣削，铣削的直径较大，刀具的线速度大，容易磨损，加工面易产生中间凸。反之，从里往外铣削易产生中间凹的端面
		2）径向刀架的固定方式：是由平旋盘旋转，盘上的径向刀架固定，由工作台或主轴箱作进给。铣削大平面时应考虑工作台横向行程是否够长。粗铣时，进给量不易太大，避免产生振动。精铣时，采用较宽的修光刃，且刃口线贴平加工面，加大进给量，使表面粗糙度降低

（续）

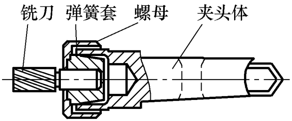
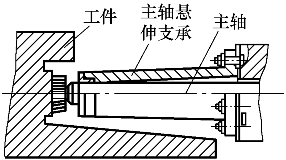
铣削方法	简　　图	说　　明
镗床主轴上装铣刀铣削	 a)  b)	这种方法由于镗床主轴不是通孔，不像铣床可用拉紧螺栓把铣刀拉紧，所以在镗床主轴上安装铣刀的关键在于连接方法和刚性的好坏 端面铣刀在镗床主轴上的连接方式： 1）刀盘直径小于 250mm 时，其刀盘直接装在刀杆上并用螺钉锁紧 2）刀盘直径在 250 ~ 450mm 时，刀盘压入刀杆后用电焊焊牢（图 a） 3）刀盘直径大于 450mm 时，可将刀盘直接夹紧在主轴上（图 b）

铣削方法	简　　图	说　　明
镗床主轴上装铣刀铣削	 a)法兰固定式  b)外螺纹固定式	立铣刀在镗床主轴上的连接方式： 1）法兰固定式：把装好铣刀的锥套插进刀杆的锥孔，用螺栓把锥套法兰与刀杆法兰紧固起来（图a） 2）外螺纹固定式：随着刀杆上外螺纹与螺母的旋紧，螺母平面将锥套紧紧地固定在刀杆上（图b）

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
镗床主轴上装铣刀铣削	 c)内螺纹固定式	3）内螺纹固定式:刀杆的内螺纹与锥套的尾部外螺纹相连接,用锥套端部的四方头旋紧(图 c)

（续）

铣削方法	简　　图	说　　明
镗床主轴上装铣刀铣削	 d）胀簧夹头	4）胀簧夹头固定式：采用胀簧夹头夹紧圆柱柄铣刀（图 d）
主轴悬伸铣削		这种方法用于铣削内深平面，采用主轴悬伸支承进行加工。主轴悬伸支承一端与镗床的平旋盘连接，另一端托住悬伸过长的主轴一端，增加铣削部位的刚性

（续）

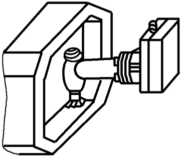
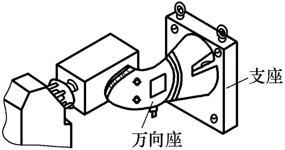
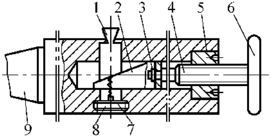
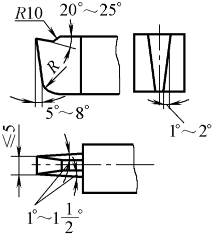
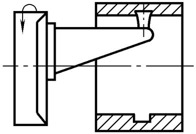
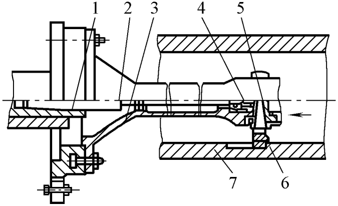
铣削方法	简　　图	说　　明
用镗床附件铣削	  	1）直角铣头铣削方法：直角铣头支座的一端与镗床连接，刀柄与支座用螺栓固定。铣头可在0°~360°内调整工作位置，铣削不同平面 2）万能铣头铣削方法：可根据工件的平面位置与形状，在垂直的两个方向调整360°角度，铣削不同平面

表 6-41　镗削内、外沟槽的方法

镗削方法		简　图	说　明
内沟槽	斜榫式径向内沟槽镗刀杆及镗刀头	 1—内槽镗刀　2—凹形斜榫　3—轴用挡圈 4—螺杆　5—倒顺牙螺母　6—手轮 7—拉簧　8—拉簧连接座　9—锥柄  高速钢内槽镗刀头	利用这种专用工具，完成刀具径向切入切出内槽，专用工具锥柄与镗床主轴锥孔连接，转动手轮和螺杆，在螺母中旋转并移动，凹形斜榫向前或向后平移，内槽镗刀在斜榫作用下从刀体方孔中伸出或在拉簧作用下内缩，完成切槽和回刀动作。镗刀切削刃宽一般≤5mm。当槽宽要求＞5mm 时，可通过移动镗床工作台完成槽宽切制

（续）

镗削方法		简　　图	说　　明
内沟槽	平旋盘镗内沟槽		这种方法适用于内孔孔径较大的内槽加工。镗内槽时镗刀固定在平旋盘径向刀架的刀杆上，刀架带动刀杆径向进给镗削出内槽。这种方法刚性较好
	用铣头镗内沟槽	 1—主轴　2—传动轴　3—本体　4—90°锥齿轮副　5—铣刀主轴　6—立铣刀　7—工件	这种方法适用于在大型工件的较大孔径上加工不通孔的内槽，镗床主轴通过传动轴使一对回转锥齿轮上的键带动铣头上的主轴转动，完成镗内槽的工作，槽深由主轴箱的升降来控制

（续）

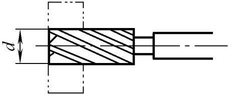
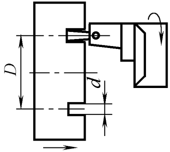
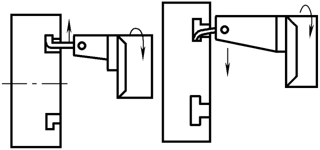
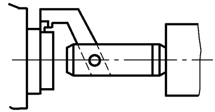
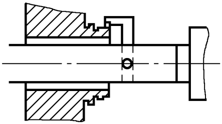
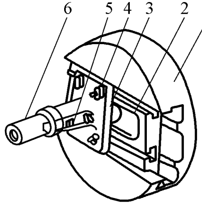
镗削方法		简　　图	说　　明
外沟槽	镗床主轴铣直槽		首先选用与所用铣刀直径相同的钻头，钻削出落刀孔，然后用立铣刀铣直槽。这种方法也可完成 T 形槽直槽等的加工
	平旋盘镗削平面上的环形槽	 a)  b)	镗削平面上的环形槽时，可直接用平头刀镗削环形槽至要求深度。当切削刃宽度小于槽宽时，移动平旋盘的径向刀架重新切槽，直至达到尺寸要求，并应保证槽深一致。这种方法也可完成 T 形环槽等的加工

表 6-42　外圆柱面的镗削方法

镗削方法	简　　图	说　　明
专用镗杆镗削方法	 悬臂镗杆  通孔镗杆	用专用镗杆及镗刀镗削外圆柱面时，刀杆一般为悬伸状态，镗刀刚性也较差，切削中容易产生振动
平旋盘装刀镗削方法	 1—平旋盘　2—径向滑块 3—刀杆座　4—紧定螺钉 5—刀杆固定螺钉　6—刀杆	用平旋盘刀杆镗削外圆柱面时，刀杆悬伸长度越短越好，以增加加工刚性，这种方法加工的直径范围较大，背吃刀量用微进给手轮作调整

在直角坐标系中,用 x 轴和 y 轴分别表示水平方向和垂直方向的坐标,而这两个坐标轴需与工件上的基准平面平行或重合(图6-6)。

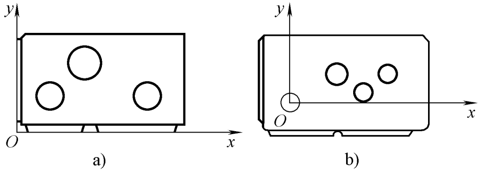


图6-6　孔系坐标的确定

a) x、y 轴与工件基准面重合　b) x、y 轴原点与基准孔(或工艺孔)中心重合

(1) 两个孔组成的简单孔系的坐标尺寸计算

这种孔系的坐标尺寸换算,是以基准孔中心为直角坐标原点,用勾股定理求出另一孔中心的坐标(图6-7)或用三角函数的方法计算。

已知:R 及 a、b 中的一个尺寸

则　$a=\sqrt{R^2-b^2}$

$b=\sqrt{R^2-a^2}$

或已知:R 及 α

则　$a=R\sin\alpha$

$b=R\cos\alpha$

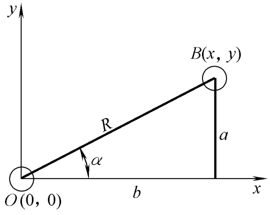


图6-7　两个孔坐标尺寸的计算

(2) 三个孔组成的三角形孔系的坐标尺寸计算

这种坐标尺寸的计

算,是将三孔中心连接起来组成一个三角形,从已知的三角形的两顶点坐标和三条边长(孔中心距),求出另一顶点(孔中心)坐标。图 6-8 所示为三孔中心(即三角形三顶点)都不在坐标轴原点上的一种情况。

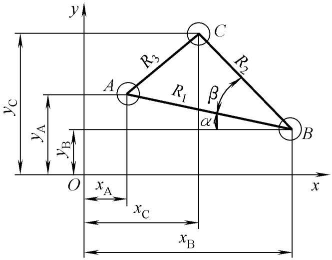


图 6-8　三孔坐标尺寸的计算

已知:R_1、R_2、R_3 以及 $A(x_A、y_A)$ 点、$B(x_B、y_B)$ 点坐标,求:$C(x_C、y_C)$ 点坐标。

由图得

$$y_A - y_B = R_1 \sin\alpha$$

则　$$\sin\alpha = \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\alpha = \arcsin\frac{y_A - y_B}{R_1}$$

由三角形余弦定理得

$$R_3^2 = R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\beta$$

$$\cos\beta = \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1R_2}$$

$$\beta = \arccos\frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1R_2}$$

由图得

$$x_B - x_C = R_2\cos(\alpha + \beta)$$

$$y_C - y_B = R_2\sin(\alpha + \beta)$$

则 $$x_C = x_B - R_2\cos(\alpha + \beta)$$

$$y_C = y_B + R_2\sin(\alpha + \beta)$$

（3）4 个以上孔组成的多边形孔系的坐标尺寸换算

这种坐标尺寸的计算,是用线段将各孔中心不交叉地连接起来,成为多边形(图 6-9),这种多边形坐标的计算,是将多边形划为若干个不重叠的三角形,用三角函数法计算的。

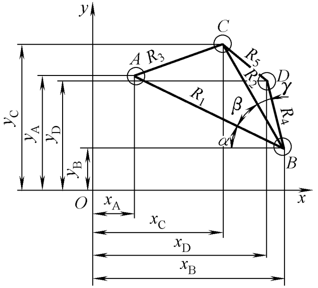


图 6-9　四孔坐标尺寸计算

已知:R_1、R_2、R_3、R_4、R_5 以及 $A(x_A、y_A)$点、$B(x_B、y_B)$点坐标。求:$C(x_C、y_C)$点、$D(x_D、y_D)$点坐标。

由图得

$$\sin\alpha = \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\cos\beta = \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1R_2}$$

$$\cos\gamma = \frac{R_2^2 + R_4^2 - R_5^2}{2R_2R_4}$$

则 $$\alpha = \arcsin\frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\beta = \arccos\frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1R_2}$$

$$\gamma = \arccos\frac{R_2^2 + R_4^2 - R_5^2}{2R_2R_4}$$

由图得

$$x_{\mathrm{D}} = x_{\mathrm{B}} - R_4\cos(\alpha + \beta + \gamma)$$

$$y_{\mathrm{D}} = y_{\mathrm{B}} + R_4\sin(\alpha + \beta + \gamma)$$

则 $$x_{\mathrm{C}} = x_{\mathrm{B}} - R_2\cos(\alpha + \beta)$$

$$y_{\mathrm{C}} = y_{\mathrm{B}} + R_2\sin(\alpha + \beta)$$

(4) 孔坐标尺寸公差的计算

孔的坐标尺寸通过计算确定之后,为保证孔中心距的公差,还必须计算出坐标尺寸的公差。这样,才能保证加工的精度。

孔中心距的公差应等于或大于两项坐标公差的几何和,即

$$(\Delta L)^2 \geqslant (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$$

式中 ΔL——两孔中心距的公差(mm);

Δx——x 轴的尺寸公差(mm);

Δy——y 轴的尺寸公差(mm)。

如图 6-10 可知,Δx 平行于 x,Δy 平行于 y,两孔的坐标尺寸公差所组成的两个直角三角形相似,则

$$\frac{\Delta L}{\Delta x} = \frac{L}{x}$$

$$\frac{\Delta L}{\Delta y} = \frac{L}{y}$$

如果给定 ΔL

则 $$\Delta x = \frac{\Delta L x}{L}$$

$$\Delta y = \frac{\Delta L y}{L}$$

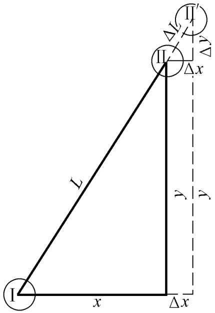


图 6-10 孔坐标尺寸公差计算

如果孔中心距的公差是单向的,那么坐标公差也应同向。若是双向的,那么坐标公差也应是双向的,而且坐标公差的上偏差和下偏差应分别计算。

已知:$L = (90 \pm 0.1$ mm,$x = 75$mm(图 6-11),求:y、Δx 和 Δy。

用勾股定理求出 y

$$y = \sqrt{L^2 - x^2} = \sqrt{90^2 - 75^2}\ \text{mm} = 49.749\text{mm}$$

$$\Delta x_{上偏} = \frac{\Delta L_{上偏} x}{L} = \frac{0.1 \times 75}{90}\text{mm} = +0.08\text{mm}$$

$$\Delta x_{下偏} = \frac{\Delta L_{下偏} x}{L} = \frac{-0.1 \times 75}{90}\text{mm} = -0.08\text{mm}$$

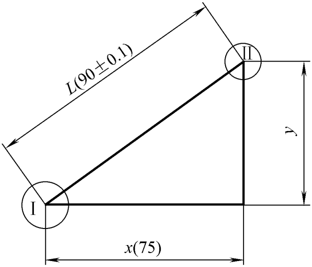


图 6-11　孔坐标尺寸公差计算举例

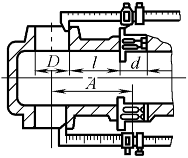
$$\Delta y_{上偏} = \frac{\Delta L_{上偏} y}{L} = \frac{0.1 \times 49.749}{90}\text{mm} = +0.055\text{mm}$$

$$\Delta y_{下偏} = \frac{\Delta L_{下偏} y}{L} = \frac{-0.1 \times 49.749}{90}\text{mm} = -0.055\text{mm}$$

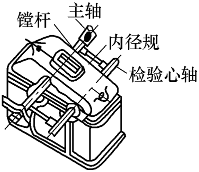
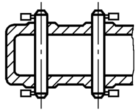
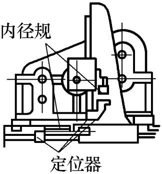
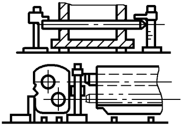
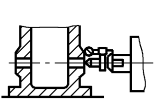
8. 卧式镗床常用测量方法及精度(表 6-43)

表 6-43　卧式镗床常用测量方法及精度

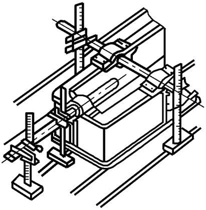
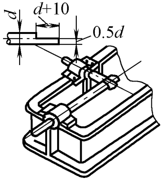
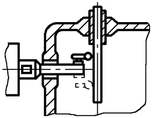
(单位:mm)

测量方法	图　示	精度
用游标卡尺测量孔间距与平行度		0.08

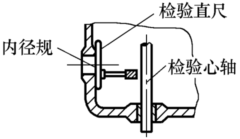
（续）

测量方法	图　　示	精度
用游标卡尺或内径规测量孔间距与平行度		0.06
用千分尺测量孔间距与平行度		0.04
用定位器及内径规测量孔间距与平行度		0.04
用游标高度尺或指示表测量基准面与孔的平行度		0.06
用装在镗杆上的指示表测量孔与端面的垂直度		0.04

（续）

测量方法	图　　示	精度
用游标高度尺测量三个孔轴线的同一平面度		0.06
用检验心轴与塞尺测量孔轴线的同一平面度		0.04
用装在镗杆上的指示表与检验心轴测量两孔的垂直度		0.06

（续）

测量方法	图　　示	精度
用内径规、检验直尺及检验心轴测量一个孔至另一个端面的距离		0.06

9. 卧式镗床加工中常见的质量问题与解决方法（表6-44）

表6-44　卧式镗床加工中常见的质量问题与解决方法

质量问题	影　响　因　素	解　决　方　法
尺寸精度超差	精镗的背吃刀量没掌握好	调整背吃刀量
	镗刀块切削刃磨损尺寸起变化 镗刀块定位面间有脏物	调换合格的镗刀块 清除脏物重新安装

（续）

质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法
尺寸精度超差	用对刀规对刀时产生测量误差	利用样块对照仔细测量
	铰刀直径选择不对 切削液选择不对	试铰后选择直径合适的铰刀 调换切削液
	镗杆刚性不足有让刀	改用刚性好的镗杆或减小切削用量
	机床主轴径向圆跳动过大	调整机床
表面粗糙度参数值超差	镗刀刃口磨损	重新刃磨镗刀刃口
	镗刀几何角度不当	合理改变镗刀几何角度
	切削用量选择不当	合理调整切削用量
	刀具用钝或有损坏	调换刀具
	没有用切削液或选用不当	使用合适的切削液
	镗杆刚性差,有振动	改用刚性好的镗杆或调整镗杆支承形式

（续）

质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法
圆柱度超差	用镗杆送进时，镗杆挠曲变形	采用工作台送进，增强镗杆刚性，减少切削用量
	用工作台送进时，床身导轨不平直	维修机床
	刀具磨损	提高刀具的耐用度；合理地选择切削用量
	刀具热变形	使用切削液；降低切削用量；合理地选择刀具角度
	主轴回转精度差	维修、调整机床
	工作台送进方向与主轴轴线不平行	维修、调整机床
	镗杆与导向套的几何精度与配合间隙不当	使镗杆和导向套的几何形状符合技术要求，并控制合适的配合间隙

（续）

质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法
背吃刀量	加工余量不均匀 材质不均匀	适当增加走刀次数 合理地安排热处理工序 精加工采用浮动镗削
	背吃刀量很小时，多次重复走刀形成“溜刀”	控制精加工走刀次数与背吃刀量，并采用浮动镗削
	夹紧变形	正确选择夹紧力、夹紧方向和着力点
	铸造内应力	进行人工时效，粗加工后停放一段时间
	热变形	粗、精加工分开，注意充分冷却

（续）

质量问题	影　响　因　素	解　决　方　法
同轴度超差	镗杆的挠曲变形	减少镗杆的悬伸长度，采用工作台送进，调头镗；增加镗杆刚性，采用导向套或后立柱支承
	床身导轨的不平直	维修机床，修复导轨精度
	床身导轨与工作台的配合间隙不当	恰当地调整导轨与工作台间的配合间隙；镗同一轴线孔时，采用同一送进方向
	加工余量不均匀、不一致 切削用量不均衡	尽量使各孔的余量均匀一致；切削用量相近；增强镗杆刚性；适当降低切削用量，增加走刀次数
平行度超差	镗杆挠曲变形	增强镗杆刚性；采用工作台送进
	工作台与床身导轨不平行	维修机床

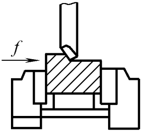
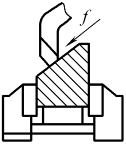
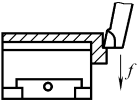
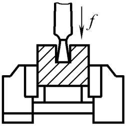
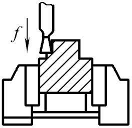
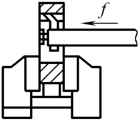
第七章　刨削、插削加工

一、刨削

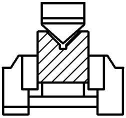
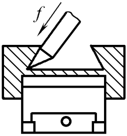
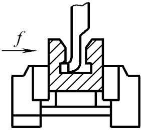
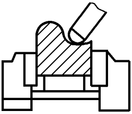
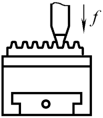
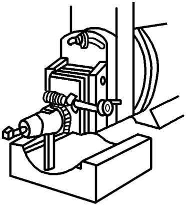
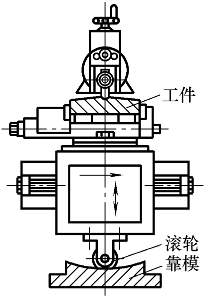
1. 刨削加工方法

（1）牛头刨床常见加工方法（表 7-1）

表 7-1　牛头刨床常见加工方法

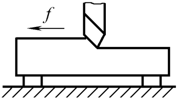
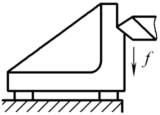
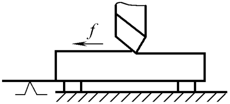
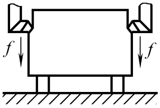
刨平面		刨斜面	
刨侧面		刨槽	
刨台阶		刨孔内槽	

（续）

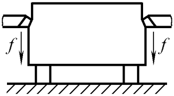
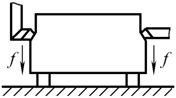
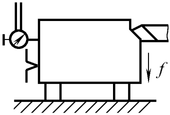
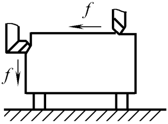
刨 V 形槽	
刨燕尾槽	
刨 T 形槽	
刨曲面	
刨齿条	
可转刀杆刨凹圆柱面	
仿形法刨圆弧面	

（2）龙门刨床常见加工方法（表 7-2）

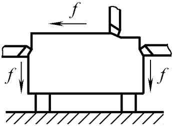
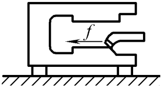
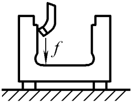
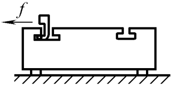
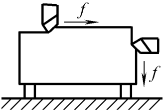
表 7-2　龙门刨床常见加工方法

用垂直刀架加工一个平面	
用水平刀架加工一个平面	
用垂直刀架加工一个与基准面平行的平面（用垫铁方法）	
用两个垂直刀架同时加工两侧面	

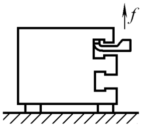
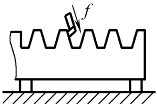
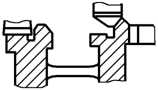
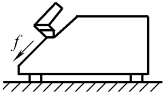
（续）

用两个水平刀架同时加工两侧面	
用垂直刀架与水平刀架同时加工两侧面	
用水平刀架加工一个与基准面平行的平面（基准面用指示表校准）	
用两个垂直刀架同时加工上平面与侧面	

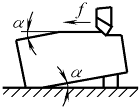
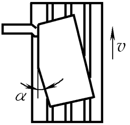
（续）

用两个水平刀架及一个垂直刀架同时加工上平面与侧面	
用水平刀架加工内表面	
用垂直刀架加工内表面	
用垂直刀架加工上面的 T 形槽	
用垂直刀架与水平刀架同时加工上平面与侧面	

（续）

用水平刀架加工侧面上的T形槽	
用垂直刀架加工齿条	
用两个垂直刀架和一个水平刀架同时加工导轨面	
用垂直刀架板角度加工斜面	

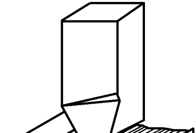
（续）

把工件装夹成斜度加工斜面	 a) 用垂直刀架  b) 用水平刀架

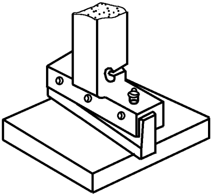
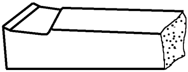
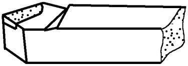
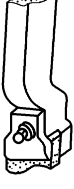
2. 刨刀类型及切削角度的选择

（1）刨刀的种类（表 7-3）

表 7-3　刨刀的种类

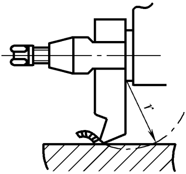
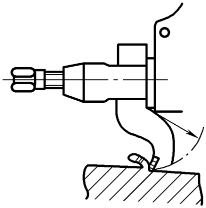
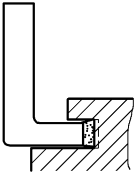
种类	图　　示	特点及用途
粗刨刀		粗加工表面用刨刀。多为强力刨刀，以提高切削效率

（续）

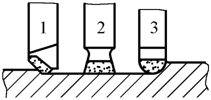
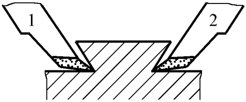
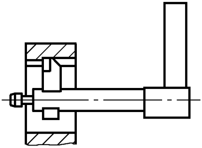
种类	图　　示	特点及用途
精刨刀		精细加工用刨刀。多为宽刃形式，以获得较低表面粗糙度值的表面
整体刨刀		刀头与刀杆为同一材料制成，一般高速钢刀具多是此种形式
焊接刨刀		刀头与刀杆由两种材料焊接而成。刀头一般为硬质合金刀片
机械夹固式刨刀		刀头与刀杆为不同材料，用压板、螺栓等把刀头紧固在刀杆上

（2）常用刨刀的形式及用途（表 7-4）

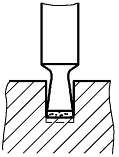
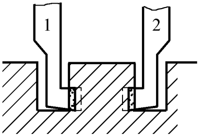
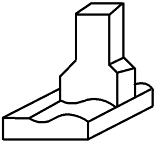
表 7-4　常用刨刀的形式及用途

形式	图　　示	特点及用途
直杆刨刀		刀杆为直杆。粗加工用
弯颈刨刀		刀杆的刀头部分向后弯曲。在刨削力作用下，弯曲弹性变形，不扎刀。切断、切槽、精加工用
弯头刨刀		刀头部分向左或右弯曲。用于切槽

（续）

形式	图　　示	特点及用途
平面刨刀	 1—尖头平面刨刀　2—平头平面刨刀 3—圆头平面刨刀	粗、精刨平面用
偏刀	 1—左偏刀　2—右偏刀	用于加工互成角度的平面、斜面和垂直面等
内孔刀		加工内孔表面与内孔槽

（续）

形式	图　　　示	特点及用途
切刀		用于切槽、切断和刨台阶
弯切刀	 1—左弯切刀　2—右弯切刀	加工 T 形槽、侧面槽等
成形刀		加工特殊的形状表面。刨刀刀刃形状与工件表面一致，一次成形

（3）刨刀切削角度的选择（表 7-5）

表 7-5　刨刀切削角度的选择

加工性质	工件材料	刀具材料	前角 γ_o /(°)	后角 α_o[①] /(°)	刃倾角 λ_s /(°)	主偏角 κ_r[②]/(°)
粗加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	10～15	7～9	－10～－15	45～75
		YG8，YG6	10～13	6～8	－10～－20	
	钢 σ_b＜750MPa	W18Cr4V	15～20	5～7	－10～－20	45～75
		YW2，YT15	15～18	4～6	－10～－20	
	淬硬钢	YG8，YG6X	－15～－10	10～15	－15～－20	10～30
	铝	W18Cr4V	40～45	5～8	－3～－8	

（续）

加工性质	工件材料	刀具材料	前角 γ_o /(°)	后角 α_o ① /(°)	刃倾角 λ_s /(°)	主偏角 κ_r ② /(°)
精加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	−10～0	6～8	5～15	0～45
		YG8,YG6X	−15～−10③ 10～20	3～5	0～10	
	钢 σ_b <750MPa	W18Cr4V	25～30	5～7	3～15	
		YW2,YG6X	22～28	5～7	5～10	
	淬硬钢	YG8,YG8A	−15～−10	10～20	15～20	10～30
	铝	W18Cr4V	45～50	5～8	−5～0	

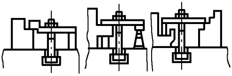
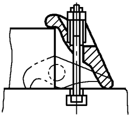
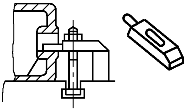
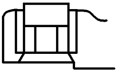
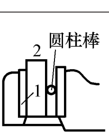
① 精刨时,可根据情况在后刀面上磨出消振棱。一般倒棱后角 $\alpha_{\alpha1}=-1.5°\sim0°$,倒棱宽度 $b_{\alpha1}=0.1\sim0.5$mm。

② 机床功率较小、刚性较差时,主偏角选大值;反之,选小值。主刀刃和副刀刃之间宜采用圆弧过渡。

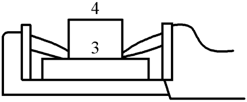
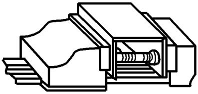
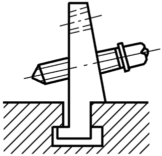
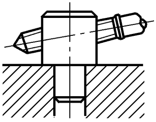
③ 两组推荐值都可用,视具体情况选用。

3. 刨削常用装夹方法（表 7-6）

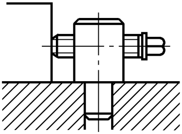
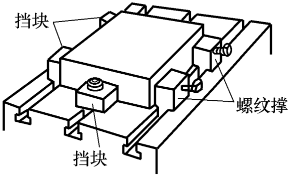
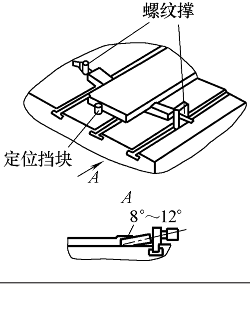
表 7-6　刨削常用装夹方法

方法	分类与用途	图　　示
压板装夹	平压板和弯头压板	
	可调压板	
	孔内压板	
虎钳装夹	刨一般平面	
	平面 1、2 有垂直度要求时	

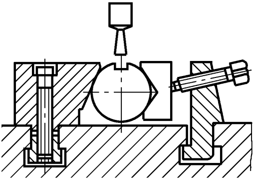
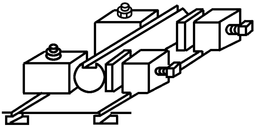
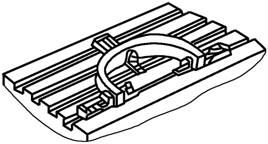
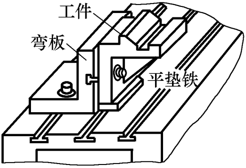
（续）

方法	分类与用途	图　　示
虎钳装夹	平面 3、4 有平行度要求时	
	虎钳与螺栓配合装夹薄壁工件	
螺纹撑、螺纹挡装夹	螺纹撑	 用于 T 形槽的螺纹撑  用于圆柱孔内的螺纹撑

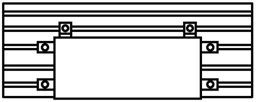
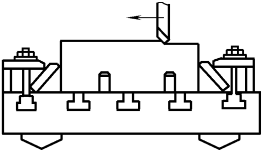
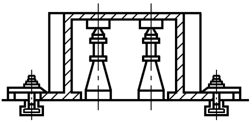
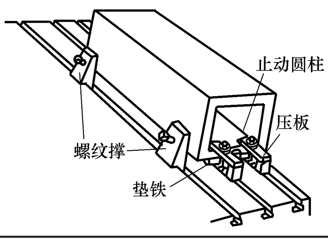
（续）

方法	分类与用途	图　　示
螺纹撑、螺纹挡装夹	螺纹挡	
	用螺纹撑和挡块在工作台上装夹工件	
	用螺纹撑和挡块在工作台上装夹薄板工件	

（续）

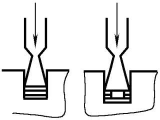
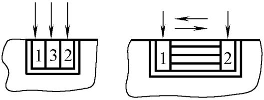
方法	分类与用途	图　　示
螺纹撑、螺纹挡装夹	用角度挡块和螺纹撑在工作台上装夹圆柱形工件	 
	用螺纹撑在工作台上装夹圆弧工件	
弯板装夹工件	刨垂直面及槽	

（续）

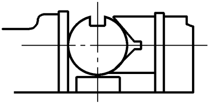
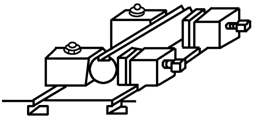
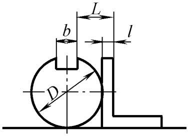
方法	分类与用途	图　示
楔铁装夹工件	楔铁装夹薄板工件	 楔铁斜度采用 1∶100，适于加工薄而大的工件。粗加工时，考虑热变形的影响，必须将纵向的楔铁适当放松些，且工件两面应轮流翻转，多次重新装夹加工，使两加工面的内应力接近平衡
其他装夹方法	挤压方法装夹工件	
	压板与千斤顶配合装夹工件	
	箱体工件的装夹方法	

4. 槽类工件的刨削与切断（表 7-7）

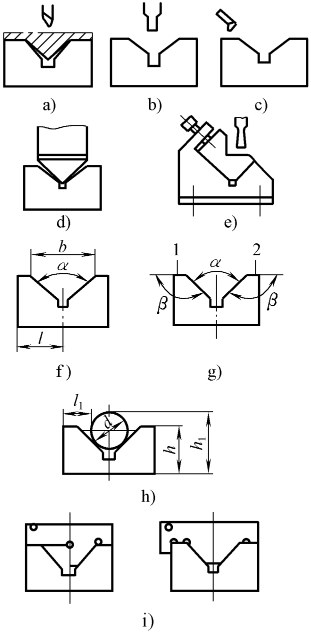
表 7-7　槽类工件的刨削与切断

类别	图　　　示	加工方法
直角沟槽	 a)　　　b)	当槽的精度要求不高且又较窄时，可按图 a 所示一次将槽刨完 当精度要求较高且宽度又较大时，可按图 b 所示先用较窄的切槽刀开槽，然后用等宽的切槽刀精刨
	 a)　　　b)	宽度很宽的槽，按下列两种方法加工： 图 a 是按 1、2、3 的顺序用切刀垂直进给，三面各留余量 0.1～0.3mm，粗切后再进行精刨 图 b 是先用切槽刀刨出 1、2 槽，再用尖头刨刀粗刨中间，三面各留余量 0.1～0.3mm，最后换切槽刀精刨

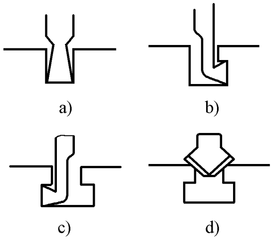
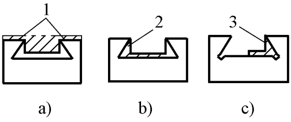
（续）

类别	图　　示	加工方法
轴上直通槽	 a)  b)  c)	短的工件可按图 a 所示用虎钳装夹，长的工件可按图 b 直接装夹在工作台台面上 为了保证槽侧与轴线的平行度，装夹时应用指示表找正侧母线 粗刨直通槽的方法与刨直角沟槽相同 精刨时，先用切槽刀垂直进给精刨一个侧面，此时要特别注意保证键槽对轴线的对称度，测量方法可参照图 c，其中 $L=\frac{D-b}{2}+l$（D—轴的实际尺寸；b—键槽按中间公差的宽度）L 值可用卡尺或公法线千分尺测量。精刨完一侧后，再精刨另一侧，以达到槽宽要求

（续）

类别	图　　　示	加工方法
V 形 槽		（1）加工方法 1）按尺寸划线，用水平走刀粗刨大部分余量，见图 a 2）按图 b 切空刀槽 3）倾斜刀架，用偏刀刨两斜面，见图 c 4）尺寸小的 V 形槽，可用样板刀精刨，见图 d 5）可按图 e 用夹具刨 V 形槽 （2）测量方法（V 形槽尺寸要素见图 f） 1）以 1、2 顶面为基准按图 g 检查两 β 角，$\beta=90°+\frac{\alpha}{2}$。如 β 正确，则 α 角正确，且 α 的角平分线与 1、2 面垂直 2）按图 h 测量 l_1，$l_1=l-\frac{d}{2}$ 3）按图 h 测量 h_1 $h_1=\frac{d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}+h+\frac{d}{2}-\frac{b}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$ 如 h_1 准确，则尺寸 b 准确 4）成批生产时，可用样板检查，见图 i

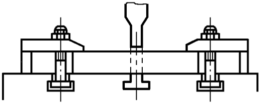
（续）

类别	图　　示	加工方法
T形槽		1）用直槽刀按图 a 切直槽 2）按图 b 用左弯头刀加工一侧面凹槽 3）按图 c 用右弯头刀加工另一侧面凹槽 4）用 45°倒角刀按图 d 倒角 注意：刨 T 形槽时切削用量要小；刨刀回程时，必须将刀具抬出 T 形槽外
燕尾槽	斜燕尾在水平面内的斜度（1:K_a）和应偏转的斜角 θ_a	1）按要求找正装夹后，精刨 1 面到尺寸 2）按图 a 用切槽刀刨直角槽，直角槽宽略小于燕尾槽小头宽度，直角槽深略小于燕尾槽深度

（续）

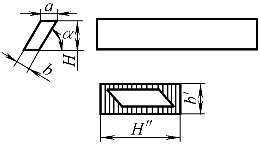
<table>
<tr><th>类别</th><th colspan="5">图　　示</th><th>加工方法</th></tr>
<tr><td rowspan="7">燕尾槽</td><td>斜镶条的斜度 $1:K_b$</td><td>斜镶条的斜角 θ_b</td><td>燕尾的倾斜角 α</td><td>斜燕尾在水平面内的斜度 $1:K_a$</td><td>斜燕尾在水平面内应偏转的斜角 θ_a</td><td rowspan="7">3）扳转刀架和拍板座，用偏刀刨斜面的方法，先粗刨后再精刨斜面 2（见图 b），并刨槽底相应部分到尺寸
4）反方向扳转刀架和拍板座，换反方向偏刀。如果是直燕尾槽，可直接加工另一斜面 3（见图 c）及相应槽底到尺寸；如果是斜燕尾槽，工件需偏转一角度 θ_a 后再刨斜面和槽底到尺寸。注意 θ_a 的方向和斜面在哪一边均有规定要求，从加工第一个燕尾斜面时就不能搞错。当燕尾槽所用斜镶条的斜角为斜镶条纵剖面之值时（无特殊说明的斜镶条均如此），θ_a 的值可由左表查出
5）切空刀槽、倒角（可分别穿插在 3）、4）步骤中进行）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1:50</td><td rowspan="2">1°9′</td><td>55°</td><td>1:40.95</td><td>1°24′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1:43.3</td><td>1°19′</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1:60</td><td rowspan="2">0°57′</td><td>55°</td><td>1:40.15</td><td>1°10′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1:51.96</td><td>1°6′</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1:100</td><td rowspan="2">0°34′</td><td>55°</td><td>1:81.9</td><td>0°42′</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>1:83.3</td><td>0°40′</td></tr>
</table>

（续）

类别	图　　示	加工方法
切断		1）根据图样要求，按划线或用金属直尺进行对刀切断 2）工件接近切断时进给量要减小 3）如果工件较厚，可把工件翻身装夹，两面各刨一半 4）注意切断过程中切口尺寸不能因夹紧力而变小

5. 镶条的刨削（表 7-8）

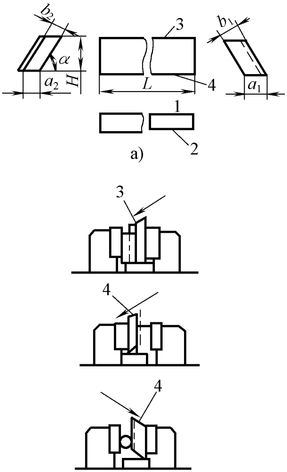
表 7-8　镶条的刨削

类别	图　　示	加工方法
直镶条		1）粗刨成矩形，每面留 1～1.5mm 余量，分粗、精刨的目的是减少变形，便于装夹

（续）

类别	图　　示	加工方法
直镶条	—	2）精刨两宽面，控制厚度 $b = a\sin\alpha$，表面粗糙度为 $Ra3.2\mu m$，并留 0.1 ~ 0.2mm 刮削余量或 0.3 ~ 0.4mm 磨削余量，注意两面的平行度 3）用指示表校正平口钳钳口与滑枕行程方向平行。按 α 角大小扳转刀架刨一窄面，并在锐角的一边刨 0.15 ~ 0.25mm 宽的倒角 4）翻转工件刨另一窄面，并倒角。注意方向不要搞错，以免刨成梯形截面

（续）

类别	图　　示	加工方法
斜镶条	 a）斜镶条　b）工件装夹示意	1）粗刨成矩形，每面留 1～1.5mm 余量 2）精刨基准宽面 1 3）以 1 面为基准，用与工件斜度相同的斜垫铁（其斜度 $S=\frac{b_1-b_2}{L}=\frac{(a_1-a_2)\sin\alpha}{L}$ 在修配工作中，可借用与其相同的旧镶条）垫在工件底下，用撑板夹持工件，刨宽面 2，并注意留有适当的刮削余量

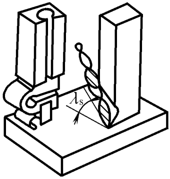
（续）

类别	图　　示	加工方法
斜镶条	—	4）按（图 b）装夹刨小窄面 3，并倒角 注意：固定钳口与滑枕方向要平行；扳转角度为 α，方向不要搞错 5）按（图 b 的中间图）装夹刨小窄面 4 并倒角 也可按（图 b 的下面图）装夹刨小窄面 4，但要注意刀架扳转方向

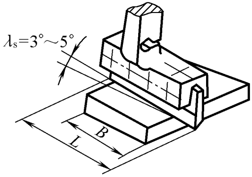
6. 精刨

（1）精刨的类型及特点（表 7-9）

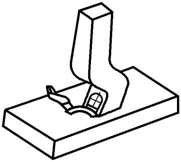
表 7-9　精刨的类型及特点

类　型		简　　图	特点与应用
直线刃精刨	一般宽刃精刨		1）一般刃宽 10 ~ 60mm 2）自动横向进给 3）适用于在牛头刨床上加工铸铁和钢件。加工铸铁时，取 λ_s = 3° ~ 8°；加工钢件时，取 λ_s = 10° ~ 15° 4）表面粗糙度可达 *Ra*0.8 ~ 1.6μm

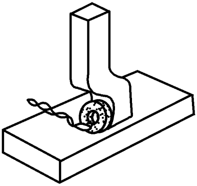
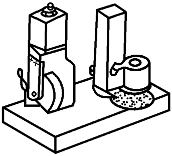
（续）

类　型		简　　　图	特点与应用
直线刃精刨	宽刃刀精刨		（1）一般刃宽 L = 100 ～240mm （2）$L>B$ 时，没有横向进给，只有垂直进给；$L \leqslant B$ 时，一般采用排刀法，常取进给量 f =（0.2～0.6）L，用指示表控制垂直进给量 （3）适于在龙门刨床上加工铸铁件和钢件 （4）表面粗糙度可达 Ra0.8～1.6μm

（续）

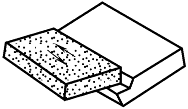
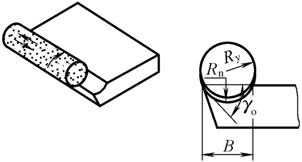
类　型		简　　　图	特点与应用
曲线刃精刨	圆弧刃精刨		1）采用圆弧刃，在同样的切削用量下，单位刃长的负荷轻，刀尖强度高，耐冲击，因而寿命高 2）刀刃上每点的刃倾角都是变化的，可增大前角，减小切屑变形，因此在同样切削用量下，可减小刨削力和使切屑流畅排出，并能微量进给（0.01～0.1mm） 3）适用于加工碳素工具钢和合金工具钢，比直线刃可提高效率2～3倍 4）表面粗糙度可达 $Ra0.8\sim1.6\mu m$

（续）

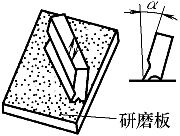
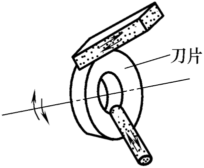
类　型			简　　　图	特点与应用
曲线刃精刨	圆形刃精刨	不转圆形刃精刨		1）除具有圆弧刃的特点外，刃磨一次可分段使用，这样相对寿命高 2）节省辅助时间 3）适用于加工中碳钢工件 4）表面粗糙度可达 *Ra*1.6～3.2μm
		滚切精刨		1）显著提高切削效率和刀具寿命 2）在后刀面上有一个压光棱带； $\alpha_{o1}=0°$，$b_{\alpha1}=0.2\sim1\text{mm}$，因而可提高表面加工质量 3）适于加工铸铁件、钢件、石材等多种材料 4）表面粗糙度可达 *Ra*0.8～1.6μm

（2）精刨刀常用的研磨方法(表 7-10)

表 7-10　精刨刀常用的研磨方法

研磨方法	简　　图	说　　明
平直前刀面的研磨		研磨前,先将油石研平,按图示角度和方向研磨。为了防止把油石研出沟痕,油石在垂直于刀刃的方向上有微小窜动 长方油石:粗研用 F240 ~ F200,精研用 F400 ~ F800
带断屑槽前刀面的研磨		一般取圆柱油石半径 $R_y=(1.2\sim1.3)R_n$(mm),研磨后 $r_o=\arcsin\dfrac{B}{2R_y}$($R_n$—刀具断屑槽半径) 研磨时,应使油石不断地转动,以防把刀口研钝。圆柱油石的粒度同第一栏。在精研时,也可用铸铁或纯铜做成研棒,加上金刚砂研磨

（续）

研磨方法	简　　图	说　　明
后刀面的研磨		研磨时,不要沿刀刃方向运动,否则会将刃口研钝 研磨板用铸铁做成,刀片的平面度应比工件高 1 ~ 2 级,表面粗糙度值不大于 *Ra*0. 4μm。金刚砂粒度为 F400 ~ F800
滚切刀具的研磨		一定要在刀片旋转下进行研磨 研磨外锥面用长方油石;研磨内锥面用圆柱油石。圆柱油石的直径一般取 10 ~ 20mm 油石的粒度同第一栏

7. 常用刨削用量(表 7-11)

表 7-11　常用刨削用量

工序名称	机床类型	刀具材料	工件材料①	背吃刀量 a_p /mm	进给量 f /(mm/往复行程)	切削速度 v /(m/min)
粗加工	牛头刨床	W18Cr4V	铸　铁	4～6	0.66～1.33	15～25
			钢	3～5	0.33～0.66	15～25
		YG8	铸　铁	10～15	0.66～1.0	30～40
		YT5	钢	8～12	0.33～0.66	25～35
	龙门刨床	W18Cr4V	铸　铁	10～20	1.2～4.0	15～25
			钢	5～15	1.0～2.5	15～25
		YG8	铸　铁	25～50	1.5～3.0	30～60
		YT5	钢	20～40	1.0～2.0	40～50

（续）

工序名称	机床类型	刀具材料	工件材料①	背吃刀量 a_p /mm	进给量 f /(mm/往复行程)	切削速度 v /(m/min)
精加工	牛头刨床	W18Cr4V	铸铁	0.03～0.05	0.33～2.33②	5～10
			钢	0.03～0.05	0.33～2.33	5～8
		YG8	铸铁	0.03～0.05	0.33～2.33	5～8
		YT5	钢	0.03～0.05	0.33～2.33	5～8
	龙门刨床	W18Cr4V	铸铁	0.005～0.01	1～15②	3～5
			钢	0.005～0.01	1～15	3～5
		YG8	铸铁	0.03～0.05	1～20	4～6
		YT5	钢	0.03～0.05	1～20	4～6

① 铸铁硬度 170～240HBW；钢 σ_b = 700～1000MPa。

② 根据修光刃宽度来确定 f，一般取 f 为修光刃宽度的 0.6～0.8 倍。

8. 刨削常见问题的产生原因及解决方法

（1）刨平面常见问题的产生原因及解决方法（表7-12）

表7-12　刨平面常见问题的产生原因及解决方法

问　　题	产生原因	解决方法
表面粗糙度参数值不符合要求	光整精加工切削用量选择不合理	最后光整精刨时采用较小的 a_p、f、v
	刀具几何角度不合理，刀具不锋利	合理选用几何角度，刀具磨钝后及时刃磨
工件表面产生波纹	机床刚性不好，滑动导轨间隙过大，切削时产生振动	调整机床工作台、滑枕、刀架等部分的压板、镶条及地脚螺栓等
	工件装夹不合理或工件刚性差，切削时产生振动	注意装夹方法，垫铁不能松动，增加辅助支承，使工件薄弱环节的刚性得到加强
	刀具几何角度不合理或刀具刚性差，切削时产生振动	合理选用刀具几何角度，加大 γ_o、κ_r 及 λ_s；缩短刨刀伸出长度，采用减振弹性刀

（续）

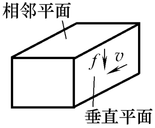
问　　题	产生原因	解决方法
平面出现小沟纹或微小台阶	刀架丝杆与螺母间隙过大；调整刀架后未锁紧刀架	调整丝杆与螺母间隙或更新丝杆、螺母。调整刀架后，必须将刀架溜板锁紧
	拍板、滑枕、刀架溜板等配合间隙过大	调整间隙
	刨削时中途停车	精刨平面时避免中途停车
工件开始吃刀的一端形成倾斜倒棱	拍板、滑枕、刀架溜板间隙过大，刀架丝杆上端轴颈锁紧螺母松动	调整拍板、滑枕、刀架溜板间隙及刀架侧面镶条与导轨的间隙。锁紧刀架丝杆上端螺母
	刨削深度太大，刀杆伸出量过长	减小刨削深度和刀杆伸出量
	刨刀 κ_r 和 γ_o 过小，吃刀抗力增大	适当选用较大的 κ_r 和 γ_o
平面局部有凹陷现象	牛头刨床大齿轮曲柄销的丝杆一端锁紧螺母松动，造成滑枕在切削中有瞬时停滞现象	应停车检查，将此螺母拧紧

（续）

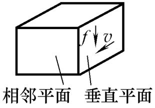
问　　题	产生原因	解决方法
平面局部有凹陷现象	在切削时，突然在加工表面停车	精刨平面时，不应在加工表面停车
	工件材质、余量不均，引起“扎刀”现象	选用弯颈式弹性刨刀，避免“扎刀”；多次分层切削，使精刨余量均匀
平面的平面度不符合要求	工件装夹不当，夹紧时产生弹性变形	装夹时应将工件垫实，夹紧力应作用在工件不易变形的位置
	刨刀几何角度、刨削用量选用不合适，产生较大的刨削力和刨削热而使工件变形	合理选用刨刀几何角度和刨削用量，必要时可等工件冷却一定时间后再精刨
两相对平面不平行，两相邻平面不垂直	夹具定位面与机床主运动方向不平行或机床相关精度不够	装夹工件前应找正夹具基准面，调整机床精度
	工件装夹不正确，基准选择不当，定位基准有毛刺、异物，工件与定位面未贴实	正确选择基准面和定位面，并清除毛刺和异物。检查工件装夹是否正确

（2）刨垂直面和阶台常见问题的产生原因及解决方法（表 7-13）

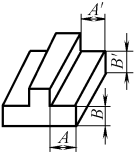
表 7-13　刨垂直面和阶台常见问题的产生原因及解决方法

问　　题	产生原因	解决方法
垂直平面与相邻平面不垂直 	刀架垂直进给方向与工作台面不垂直	调整刀架进给方向，使之与工作台面垂直
	刀架镶条间隙上下不一致，使升降时松紧不一，造成受力后靠向一边	调整刀架镶条间隙，使之松紧一致
	工件装夹时在水平方向没校正，两端高低不平，或工件伸出太长，切削时受力变形	找正工件；被加工面尽量减小伸出量
	工作台或刀架溜板水平进给丝杆与螺母间隙未消除	精切时应消除丝杆、螺母副的间隙
	刀架或刨刀伸出过长，切削中产生让刀；刀具刃口磨损	缩短刀架和刀杆伸出长度，选用刚性好的刀杆，及时刃磨

（续）

问　　题	产生原因	解决方法
垂直平面与相邻平面不垂直 	平口钳钳口与主运动方向不垂直	装夹前应找正钳口与主运动方向垂直
	刨削力过大，产生振动和移动	工件装夹牢固，合理选择刨削用量与刀具角度
表面粗糙度达不到要求	刀具几何角度不合适，刀头太尖，刀具实际安装角度使副偏角过大	选择合适的刀具几何角度，加大刀尖圆弧半径，正确安装刨刀
	刨削深度与进给量过大	精加工时选用较小刨削深度与进给量

（续）

问　　题	产生原因	解决方法
阶台与工件基准面不平行（即 $A \neq A'$、$B \neq B'$）	工件装夹时未找正基准面	装夹工件时应找正工件的水平与侧面基准
	工件装夹不牢固，切削时工件移位或切削让刀	工件和刀具要装夹牢固，选用合理刨刀几何角度与刨削用量，以减小刨削力
阶台两侧面不垂直	刀架不垂直，龙门刨床横梁溜板紧固螺钉未拧紧而让刀	加工前找正刀架对工作台的垂直度，锁紧横梁溜板

（3）切断、刨直槽及 T 形槽常见问题的产生原因及解决方法（表 7-14）

（4）刨斜面、V 形槽及镶条常见问题的产生原因及解决方法（表 7-15）

表 7-14　切断、刨直槽及 T 形槽常见问题的产生原因及解决方法

问　　题	产生原因	解决方法
切断面与相邻面不垂直	刀架与工作台面不垂直	刨削时，找正刀架垂直行程方向，使之与工作台垂直
	切刀主切削刃倾斜让刀	刃磨时，使主切削刃与刀杆中心线垂直，装刀时主切削刃不应歪斜
切断面不光	进给量太大或进给不匀	自动进给时，选用合适的进给量，手动时，要均匀进给
	切刀副偏角、副后角太小	加大刀具副后角、副偏角
	抬刀不够高，回程划伤	抬刀应高出工件
直槽上宽下窄或槽侧有小阶台	刀架不垂直，刀架镶条上下松紧不一，刀架拍板松动	找正刀架垂直，调整镶条间隙，解决拍板松动问题
	刨刀刃磨不好或中途刃口磨钝后主切削刃变窄	正确刃磨切刀，提高耐用度

（续）

问　　题	产生原因	解决方法
槽与工件中心线不对称	分次切槽时，横向走刀造成中心偏移	由同一基准面至槽两侧应分别对刀，使其对称
T 形槽左、右凹槽的顶面不在同一平面	一次刨成凹槽时，左、右弯头切刀主切削刃宽度不等	刃磨时，左、右弯头切刀主切削刃宽度应一致
	多次切成凹槽时，对刀不准确	对刀时，左、右应一致
T 形槽两凹槽与中心线不对称	刨削左、右凹槽时，横向走刀未控制准确	控制左、右横向走刀一致

表 7-15　刨斜面、V 形槽及镶条常见问题的产生原因及解决方法

问　　题	产生原因	解决方法
斜面与基面角度超差	装夹工件歪斜，水平面左、右高度不等	找正工件，使其符合等高要求
	用样板刀刨削时，刀具安装对刀不准	样板刀角度与切削安装的实际角度一致，使对刀正确

（续）

问　　题	产生原因	解决方法
斜面与基面角度超差	刀架上、下间隙不一致或间隙过大	调整刀架镶条，使间隙合适
长斜面工件的斜面全长上的直线度和平面度超差	精刨夹紧力过大，工件弯曲变形	精刨时适当放松夹紧力，消除装夹变形
	工件材料存在内应力致使加工后出现变形	精加工前工件经去应力或时效处理
	基准面平面度不好或有异物存在	修正基准面，装夹时将基面和工作台面清理干净
斜面粗糙度达不到要求	进给量太大，刀杆伸出过长，切削时发生振动	选用合适的进给量，刀杆伸出长度合理，用刚性好的刀杆
	刀具磨损或刀刃无修光刃	及时刃磨刀具，刀刃磨出 1～1.5mm 的修光刃

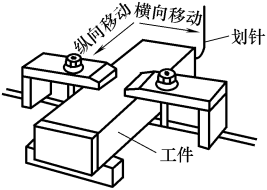
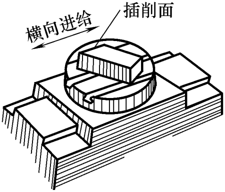
（续）

问　　题	产生原因	解决方法
V 形槽与底面、侧面的平行度，V 形槽中心平面与底面的垂直度及与侧面的对称度不合要求	平行度误差由定位基准与主运动方向不一致造成	定位装夹时，找正侧面、底面，使之与主运动方向平行
	垂直度误差与对称度误差由加工及测量方法不当造成	采用正确的加工与测量方法 或用定刀精刨：精刨 V 形槽第一面后将刀具和工件定位，工件调转 180°，并以相同定位刨第二面
镶条弯曲变形	刨削用量过大，刀尖圆弧半径过大，切削刃不锋利，使刨削力和刨削热增大	减小刨削用量，刃磨刀具使切削刃锋利，改变刀具几何角度，使切削轻快，减少热变形
	装夹变形	装夹时将工件垫实再夹紧，避免强行校正
	加工翻转次数少，刨削应力未消除	加工中多翻转工件反复刨削各面或增加消除应力的工序

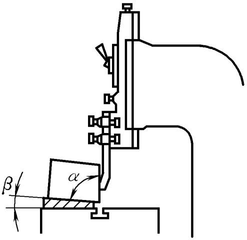
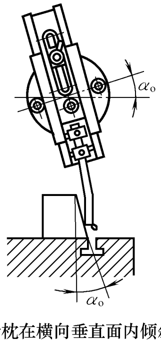
二、插削

1. 常用插削方式和加工方法（表 7-16）

表 7-16　常用插削方式和加工方法

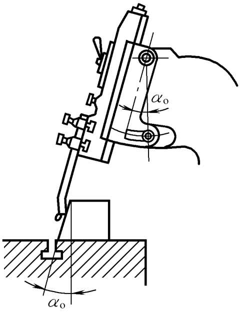
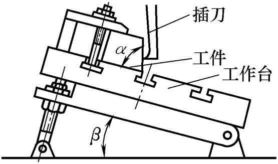
插削方式	图　　示	加工方法
插削垂直面		将工件安装在工作台中间位置的两块等高垫铁上，并将划针安装在滑枕上，使滑枕上下移动，找正工件侧面上已划好的垂直线，然后横向移动工作台。用划针检查插削面与横向进给方向的平行度，最后进行插削
插削斜面		将工件放在工作台上，按划线找正工件，使加工面与横向进给方向平行，然后采用插削垂直面的方法进行插削

（续）

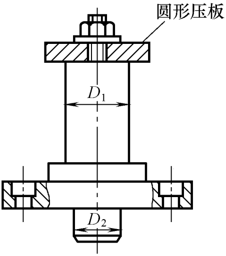
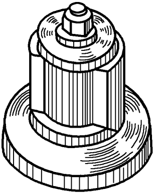
<table>
<tr><th>插削
方式</th><th>图　　示</th><th>加工方法</th></tr>
<tr><td rowspan="2">插
削
斜
面</td><td>
</td><td>用斜垫铁将工件垫起，使待加工表面处于垂直状态，然后用插削垂直面的方法进行插削。垫铁角度为 $90^\circ-\alpha$，这种方法适用于 $\beta\leqslant 11^\circ 25'$ 的工件</td></tr>
<tr><td>

滑枕在横向垂直面内倾斜</td><td>工件平放在工作台上，将滑枕按工件的斜度倾斜一个角度进行插削</td></tr>
</table>

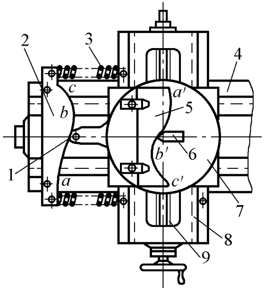
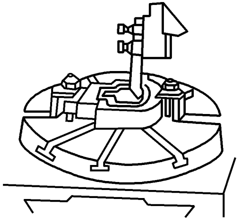
（续）

<table>
<tr><th>插削方式</th><th>图　　示</th><th>加工方法</th></tr>
<tr><td rowspan="2">插削斜面</td><td>
滑枕在纵向垂直面内倾斜</td><td>工件平放在工作台上，将滑枕按工件的斜度倾斜一个角度进行插削</td></tr>
<tr><td></td><td>将工件台倾斜 β（$\beta = 90° - \alpha$）角，然后按插削垂直面的方法插削斜面。此方法只适用于工作台可倾斜成一定角度的插床或在工作台上加一个可倾斜的工作台</td></tr>
</table>

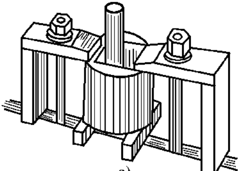
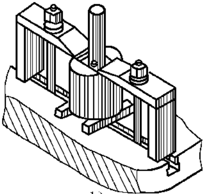
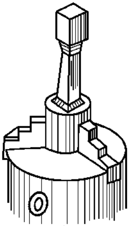
（续）

插削方式	图　　示	加工方法
插削曲面		将夹具的定位圆置于工作台的中心定位孔内，将夹具压紧在工作台上，然后把工件安装并夹紧在夹具上，按照插削垂直面的方法进行插削，工作台做圆周进给。若工件批量较小时，可用三爪卡盘或用压板螺栓直接在工作台上装夹工件

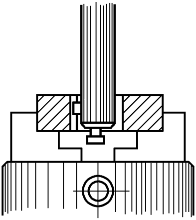
（续）

<table>
<tr><th>插削方式</th><th>图　　示</th><th>加工方法</th></tr>
<tr><td rowspan="2">插削曲面</td><td>
1—滚轮　2—靠模板　3—拉力弹簧
4—纵溜板座　5—工件　6—插刀
7—工作台　8—横溜板座
9—横向进给丝杠</td><td>在插床纵向导轨上固定一块靠模板，将纵向进给丝杠拆去，并用弹簧拉紧，使滚轮紧靠靠模板，这样利用工作台的横向进给，从而就可以插出与靠模板曲线形状相反的曲面</td></tr>
<tr><td></td><td>插削复杂的成形面时，先用划针按划线找正，利用工作台的圆周进给加工圆弧表面，利用纵向或横向进给加工直线部分
插削简单的圆弧面，可采用赶弧法；插削批量较大的小尺寸成形内孔面，可采用成形刀插削</td></tr>
</table>

（续）

插削方式	图　示	加工方法
插削方孔	 a)  b)  c)	按划线找正粗插各边（图 a)，每边留余量 0.2 ~ 0.5mm；将工作台转 45°，用角度刀头插去 4 个内角上未插去的部分（图 b)，精插第一边，测量该边至基面的尺寸。符合要求后，将工作台精确转过 180°，精插其相对的一边，并测量方孔宽度尺寸。符合要求后，再将工作台精确转过 90°，用上述方法插削第 2 边至第 4 边 尺寸较小的方孔，在进行粗插加工后，可按图 c 所示的方法，用整体方头插刀插削

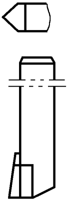
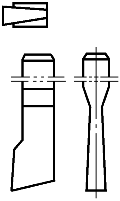
（续）

插削方式	图　　示	加工方法
插削键槽		按工件端面上的划线找正对刀后，插削键槽。先手动进给至0.5mm深时，停车检查键槽宽度尺寸及键槽的对称度，调整正确后继续插削至要求 找正插刀时，将指示表固定在工作台上，使指示表测头触及插刀侧面，纵向移动工作台，测得插刀侧面的最高点，将工作台准确地转180°，按上述方法测得插刀另一侧面的最高点，前后两次读数差的一半即为主刀刃中心与工作台轴线的不重合度数值，此时可移动横向工作台，使插刀处于正确位置

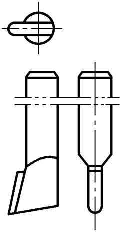
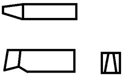
2. 插刀

(1) 常用插刀类型及用途（表 7-17）

表 7-17　常用插刀类型及用途

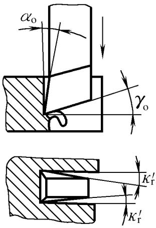
类型	图　　示	用　　途
尖刀		多用于粗插或插削多边形孔
切刀		常用于插削直角形沟槽和各种多边形孔

（续）

类型	图　　示	用　　途
成形刀		根据工件表面形状的需要刃磨而成，按形状分为角度、圆弧和齿形等成形刀
小刀头		可按加工要求刃磨成各种形状，装夹在刀杆中，适用于粗、精和成形加工。因受刀杆限制不适宜加工小孔、窄槽或不通孔

（2）插刀的主要几何角度（表 7-18）

表 7-18 插刀的主要几何角度

图示	前角 γ_o/(°)			后角 α_o/(°)	副偏角 κ'_r/(°)	副后角 α'_o/(°)
	普通钢	铸铁	硬韧钢			
	5～12	0～5	1～3	4～8	1～2	1～2

第八章　钻削、铰削加工

一、钻削

1. 麻花钻

（1）标准麻花钻头的切削角度

1）标准麻花钻头的结构要素见图 8-1。

2）麻花钻头的切削角度及横刃的切削角度见图 8-2。

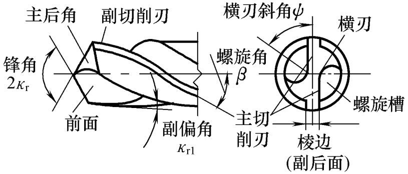


图 8-1　麻花钻头切削部分的结构要素

3）通用型麻花钻的主要几何参数见表 8-1。

4）加工不同材料时，麻花钻头的几何角度见表 8-2。

（2）高速钢麻花钻的类型、规格范围及标准代号（表 8-3）

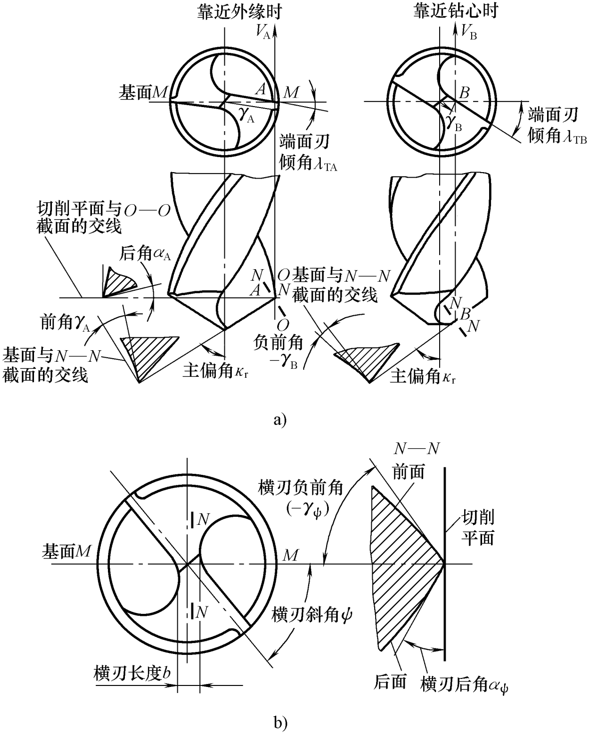


图 8-2　麻花钻头的切削角度及横刃的切削角度

a）麻花钻的前角、后角、主偏角和刃倾角

b）横刃的切削角度

表 8-1　通用型麻花钻的主要几何参数

<table>
<tr><th>钻头直径
d/mm</th><th>螺旋角
β/（°）</th><th>锋角
$2k_r$/（°）</th><th>后角
α_0/（°）</th><th>横刃斜角
ψ/（°）</th></tr>
<tr><td>0. 1 ~0. 28</td><td>19</td><td rowspan="15">118</td><td rowspan="2">28</td><td rowspan="15">40 ~60</td></tr>
<tr><td>0. 29 ~0. 35</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>0. 36 ~0. 49</td><td>26</td></tr>
<tr><td>0. 50 ~0. 70</td><td>22</td><td rowspan="2">24</td></tr>
<tr><td>0. 72 ~0. 98</td><td>23</td></tr>
<tr><td>1. 00 ~1. 95</td><td>24</td><td>22</td></tr>
<tr><td>2. 00 ~2. 65</td><td>25</td><td>20</td></tr>
<tr><td>2. 70 ~3. 30</td><td>26</td><td>18</td></tr>
<tr><td>3. 40 ~4. 70</td><td>27</td><td rowspan="3">16</td></tr>
<tr><td>4. 80 ~6. 70</td><td>28</td></tr>
<tr><td>6. 80 ~7. 50</td><td rowspan="2">29</td></tr>
<tr><td>7. 60 ~8. 50</td><td>14</td></tr>
<tr><td>8. 6 ~18. 00</td><td rowspan="3">30</td><td>12</td></tr>
<tr><td>18. 25 ~23. 00</td><td>10</td></tr>
<tr><td>23. 25 ~100</td><td>8</td></tr>
</table>

（3）钻头磨钝标准及寿命

表 8-2　加工不同材料时麻花钻头的几何角度

加工材料	锋角/(°)	后角/(°)	横刃斜角/(°)	螺旋角/(°)
一般材料	116～118	12～15	35～45	20～32
一般硬材料	116～118	6～9	25～35	20～32
铝合金(通孔)	90～120	12	35～45	17～20
铝合金(深孔)	118～130	12	35～45	32～45
软黄铜和青铜	118	12～15	35～45	10～30
硬青铜	118	5～7	25～35	10～30
铜和铜合金	110～130	10～15	35～45	30～40
硬度较低的铸铁	90～118	12～15	30～45	20～32
冷(硬)铸铁	118～135	5～7	25～35	20～32
淬火钢	118～125	12～15	35～45	20～32
铸钢	118	12～15	35～45	20～32
锰钢(7%～13%锰)	150	10	25～35	20～32
高速钢	135	5～7	25～35	20～32
镍钢(250～400HBW)	130～150	5～7	25～35	20～32
木料	70	12	35～45	30～40
硬橡胶	60～90	12～15	35～45	10～20

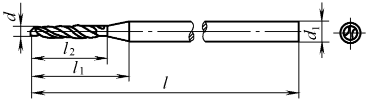
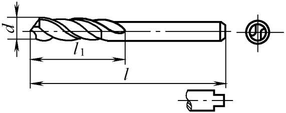
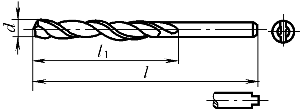
1）钻头磨钝标准（表 8-4）。

2）钻头的耐用度（表 8-5）。

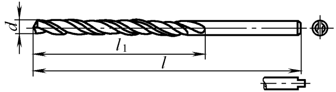
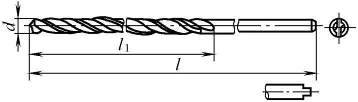
（4）标准麻花钻的刃磨及修磨

1）标准麻花钻的刃磨方法。刃磨时（图 8-3），右手握住钻头的工作部分，食指尽可能靠近切削部分作

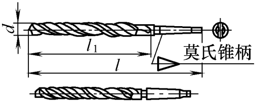
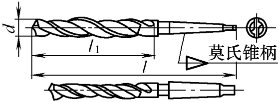
表 8-3　高速钢麻花钻的类型、规格范围及标准代号

类型	简　　图	规格范围 d/mm	标准代号
粗直柄小麻花钻		0. 1 ~ 0. 35	GB/T6135. 1—2008
直柄短麻花钻		0. 5 ~ 40	GB/T6135. 2—2008
直柄麻花钻		0. 2 ~ 20	GB/T6135. 2—2008

（续）

类型	简　　图	规格范围 d/mm	标准代号
直柄长麻花钻		1.0～31.5	GB/T6135.3—2008
直柄超长麻花钻		2.0～14.0	GB/T6135.5—2008

（续）

类型	简　　图	规格范围 d/mm	标准代号
莫氏锥柄麻花钻		3.0～100.0	GB/T1438.1—2008
莫氏锥柄长麻花钻		5.0～50.0	GB/T1438.2—2008

（续）

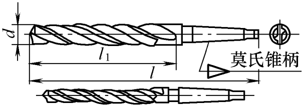
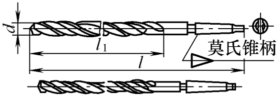
类型	简图	规格范围 d/mm	标准代号
莫氏锥柄加长麻花钻		6.0～30.0	GB/T1438.3—2008
莫氏锥柄超长麻花钻		6.0～50.0	GB/T1438.4—2008

表 8-4　钻头磨钝标准

刀具材料	加工材料	钻头直径 ≤20 后刀面最大磨损限度/mm	钻头直径 >20 后刀面最大磨损限度/mm
高速钢	钢	0.4~0.8	0.8~1.0
	不锈钢、耐热钢	0.3~0.8	
	钛合金	0.4~0.5	
	铸铁	0.5~0.8	0.8~1.2
硬质合金	钢（扩钻）、铸铁	0.4~0.8	0.8~1.2
	淬硬钢	—	

表 8-5　钻头的寿命

刀具类型	加工材料	刀具材料	刀具直径 d_0/mm <6 刀具寿命 T/min	6~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~80
钻头	结构钢及钢铸件	高速钢	15	25	45	50	70	90	110	—
	不锈钢及耐热钢	高速钢	6	8	15	25	—	—	—	—
	铸铁、铜合金、铝合金	高速钢、硬质合金	20	35	60	75	110	140	170	—

钻头摆动的支点，并掌握好钻头绕轴心线的转动和加在砂轮上的压力。将主切削刃与砂轮中心平面放置在一个水平面内，并使钻头的轴线与砂轮圆柱面的母线在水平面内的夹角为 k_r。左手握住钻柄做上下摆动。钻头转动的目的是使整个后面都能磨到，上下摆动磨出不同后角(钻头后角在钻头的不同半径处是不相等的)。两手的动作必须稳定，协调一致，转动的同时上下摆动，磨好一个主切削刃后，翻转 180°磨另一个主切削刃。

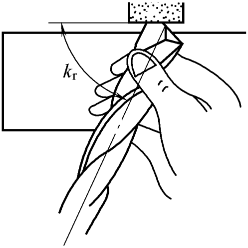


图 8-3　刃磨钻头主切削刃

粗磨时，一般后面的下部先接触砂轮，左手上摆进行刃磨。精磨时，一般主切削刃先接触砂轮，左手下摆进行刃磨，而且磨削量要小，刃磨时间要短。在刃磨过程中，要随时检查角度的正确性和对称性，同时还要随时将钻头浸入水中冷却以免退火。

主切削刃刃磨后，应对以下几方面检查：

① 检查锋角 $2k_r$ 的大小是否正确，是否对称于钻头轴线。

② 检查两主切削刃是否长短一致，高低一致。

做以上两项检查时，要把钻头切削部分向上竖立，两眼平视，观察两切削刃，并反复多次旋转 180°进行观察，如结果一样，就说明对称了。

③　钻头外缘处的后角，可直接用目测检查。近中心处的后角，可以通过检查横刃斜角 ψ 的正确与否来确定。

2）标准麻花钻的修磨

①　标准麻花钻几何形状的分析。标准麻花钻由于结构上的原因，其切削部分的几何形状不尽合理。主要有以下几个方面：

a. 钻头横刃较长，横刃前角为负值，钻削时，实际上不是切削，而是刮削和挤压，轴向抗力增大。同时横刃过长，钻头的定心作用较差，钻削时容易产生振动。

b. 主切削刃上各点的前角大小不一样，使切削性能不同。尤其是靠近横刃处，前角为负值，切削条件很差，实际处于刮削状态。

c. 主切削刃外缘处的刀尖角较小，前角很大，刀齿强度很低。而钻削时此处的切削速度又最高，故容易磨损。

d. 主切削刃长，而且全部参加切削，各处切屑排出的速度相差较大，使切屑卷曲成螺旋卷，容易在螺旋槽内堵塞，影响排屑和切削液的注入。

e. 钻头导向部分棱边较宽，而且副后角为 0°，所以靠近切削部分的一段棱边与孔壁的摩擦比较严重，故容易发热和磨损。

综上分析，标准麻花钻头的几何形状不能适应各种材料和加工条件的需要，所以通常要对标准麻花钻的几何形状进行适当的修磨。

②　标准麻花钻的修磨方法：

a. 修磨主切削刃（修磨锋角 $2k_r$）。标准麻花钻锋角 $2k_r$ 为 118°，修磨时应根据加工材料的不同进行。

修磨主切削刃时，可磨出第二锋角 $2k_{ro}$（图 8-4），即在外缘处磨出过渡刃。一般 $2k_{ro}=70°\sim75°$，$f_o=0.2d$。其目的是增大切削刃的总长度和刀尖角 ε_r，从而增加刀齿强度，使切削刃与棱边交角处的抗磨性提高，提高钻头使用寿命。同时也有利于减小孔壁表面粗糙度。

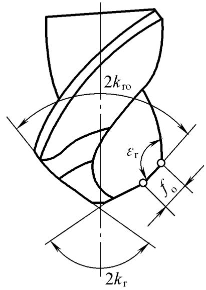


图 8-4　修磨主切削刃

b. 修磨横刃（图 8-5）。修磨横刃的目的是减短横刃长度，并使靠近钻心处的前角增大，以减小切削时的轴向抗力和挤刮现象，并改善定心作用。修磨后横刃长度为原来的 1/3～1/5，并形成内刃，内刃斜角 $\tau=20°\sim30°$，内刃前角 $\gamma_{o\tau}=0°\sim-15°$，一般钻头直径在 5mm 以上的均需修磨横刃。

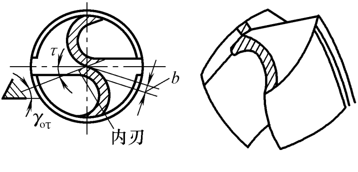


图 8-5　修磨横刃

c. 修磨分屑槽。一般直径大于 15mm 的钻头，在钻削钢件时，都应在钻头的主后面修磨出几条相互错开的分屑槽（图 8-6），以使切屑变窄，排屑顺利。

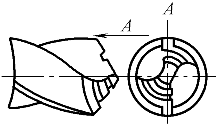


图 8-6　修磨分屑槽

d. 修磨前刀面。修磨前刀面是将钻头主切削刃和副切削刃交角处的前刀面磨去一块（图 8-7），以减小此处的前角，提高刀齿的强度。

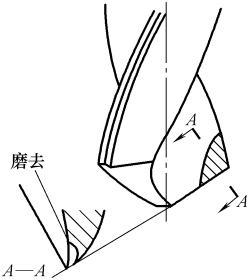


图 8-7　修磨前刀面

e. 修磨棱边。修磨棱边是为了减少棱边与孔壁的摩擦，提高钻头使用寿命。修磨后的副后角 $\alpha_1=6°\sim8°$，但必须保留 0.2～0.4mm 宽的未经修磨的棱边。副后角修磨长度 $L=(0.1\sim0.2)\ d$（图 8-8）。

2. 硬质合金麻花钻

硬质合金麻花钻适用于立式钻床、摇臂钻床、车床

和加工中心等机床。硬质合金直柄麻花钻以通用的钻夹头或专用的弹性夹头夹持，硬质合金锥柄麻花钻以莫氏自锁工具圆锥的内锥孔夹持。

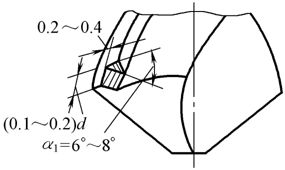


图 8-8　修磨棱边

在一般机床上使用硬质合金钻头，进给时应先用手动进给，当钻尖切入工件后再自动进刀，而当横刃开始穿透工件时再用手动进给。否则，会引起轧刀或使硬质合金刀片崩刃的情况。

使用直径 $d \geqslant 35$mm 的硬质合金钻头时，应先预钻一直径较小的孔后再钻大孔。预钻孔的孔径为（0.5 ~ 0.7）d。

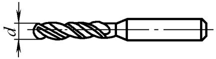
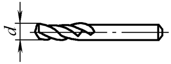
在一般机床上钻削孔径深 $h \geqslant 3d$ 时，应常将钻头自孔中退出，避免切屑堵塞，造成钻头磨损，导致钻头折断在孔中。

硬质合金麻花钻按结构分为整体硬质合金麻花钻、镶片硬质合金麻花钻和镶齿冠硬质合金麻花钻等。

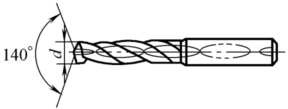
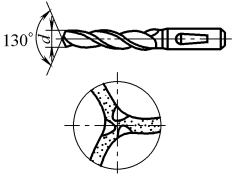
硬质合金麻花钻主要用于加工铸铁、绝缘材料及淬硬钢件等。使用硬质合金钻头可提高生产效率和钻头的使用寿命。

（1）整体硬质合金麻花钻的类型和用途（表 8-6）

表 8-6　整体硬质合金麻花钻的类型和用途

类型	直径范围/mm	简　图	用　　途
整体硬质合金粗柄麻花钻	0.2 ~ 3.175		加工印制电路板用
整体硬质合金定直径圆柱柄麻花钻	3.2 ~ 6.5		加工玻璃纤维环氧树脂线路板以及纸-胶木线路板等
整体硬质合金直柄麻花钻	1 ~ 20		加工印制线路板，铸铁、非铁金属、钢、耐热钢、合金钢、淬硬钢、塑料、石墨等

（续）

类型	直径范围/mm	简　图	用　　途
整体硬质合金直柄内冷却麻花钻	5～20		用途和整体硬质合金直柄麻花钻相同。但由于有内冷却，刀具性能更好
削平柄硬质合金三刃麻花钻	3～20		用于高效加工直线度要求高的孔，可加工钢、铸铁耐热合金、淬硬钢及钛合金等

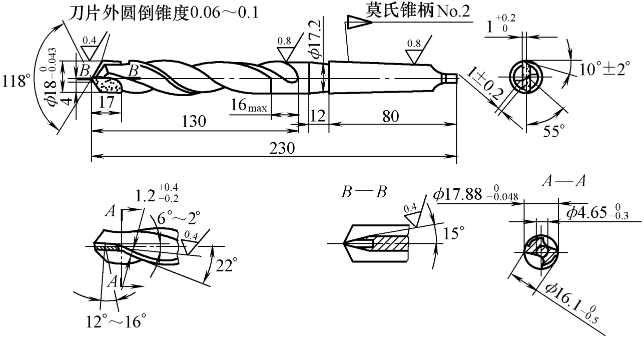


图 8-9　镶片硬质合金麻花钻

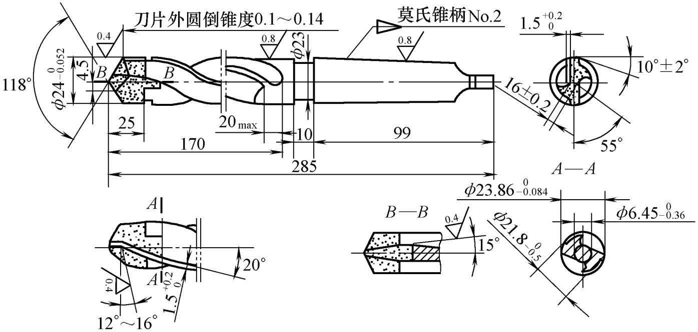


图 8-10　镶齿冠硬质合金麻花钻

（2）镶片硬质合金麻花钻

国家标准中规定，镶片硬质合金麻花钻有直柄和锥柄两种（图 8-9），主要用于加工铸铁。直柄钻头的直径范围为 5 ~ 20mm；锥柄钻头的直径范围为 10 ~ 30mm。为了提高硬质合金钻头的强度和刚性，硬质合金钻头的芯厚比高速钢麻花钻大，为(0.25 ~0.3)d，螺旋角则较小（$\beta = 20°$），钻头工作部分的直径应有倒锥，而且工作部分较短（等于钻孔深度加 1.5 ~ 2 倍的钻头直径），刀体材料为合金钢 9SiCr 或同等以上性能的合金钢，并淬硬到58 ~ 62HRC。此外硬质合金刀片上，还磨有与钻头轴线成 6° 的斜角，后角为 12° ~ 16°，并修磨横刃。

（3）镶齿冠硬质合金麻花钻

镶齿冠硬质合金麻花钻有直柄和锥柄两种（图 8-10），直柄麻花钻的直径范围为 6 ~ 12mm，锥柄麻花钻的直径范围为 6 ~ 25mm，具有内冷却孔的镶齿冠硬质合金麻花钻的直径范围为 8 ~ 25mm。它们共同的特点是钻头的头部是整体硬质合金，而且几何参数比较合理，其切削性能优于镶片硬质合金麻花钻头。

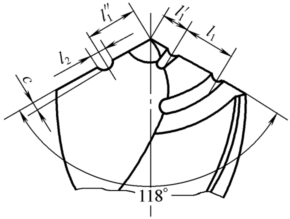


图 8-11　分屑钻头

3. 几种典型钻头举例

（1） 分 屑 钻 头

(图 8-11)

分屑钻头适用于加工碳素钢与合金结构钢，分屑槽尺寸见表 8-7。

表 8-7　分屑槽尺寸

钻头直径 /mm	总槽数	l_2 /mm	c /mm	l_1' /mm	l_1 /mm	l_1'' /mm
12 ~ 18	2	0. 85 ~ 1. 3	0. 6 ~ 0. 9	2. 3	4. 6	—
> 18 ~ 35	3	1. 3 ~ 2. 1	0. 9 ~ 1. 5	3. 6	7. 2	7. 2
> 35 ~ 50	5	2. 1 ~ 3	1. 5 ~ 2	5	10	10 *

注：有两条槽时，槽距应为 10mm，具体尺寸可根据钻头直径决定。

横刃长度为 0. 75 ~ 1. 5mm，应注意修磨对称。采用分屑钻头，加工表面粗糙度可达 Ra3. 2 ~ 6. 3μm，钻头排屑好，有利于冷却。可提高钻头使用寿命和生产效率。

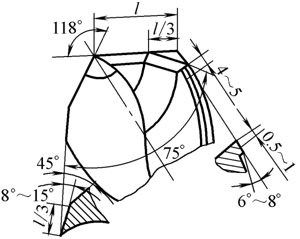


图 8-12　综合钻头

（2）综合钻头(图 8-12)

综合钻头适用于加工铸铁件。钻头横刃长度为 0. 5 ~ 1mm；双后角 $l/3$ 的后面 α_0 = 8° ~ 12°；其余为 45°；双重锋角，近外圆处为 75°；在 4 ~ 5mm 长度的棱边上

磨出副后角 α_1 为 6°～8°；两主切削刃和过渡刃要修磨对称。

采用综合钻头，加工表面粗糙度可达 Ra3.2～6.3μm。可提高钻头使用寿命和生产效率。

（3）钻不锈钢钻头（图 8-13）

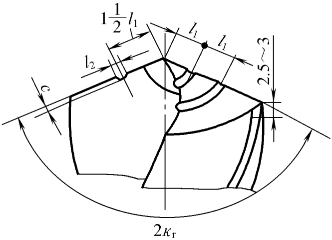


图 8-13　钻不锈钢钻头

钻不锈钢钻头适用于加工不锈钢和耐热钢。钻头分屑槽尺寸：l_2 = 1.5～17.5mm，c = 0.5～0.6mm，$l_1 = \frac{d}{6} \sim \frac{d}{7}$。

修磨横刃，使该处为正前角，横刃长一般应根据钻头直径 d 确定，d = 6～25mm，横刃长 b = 0.4～0.5mm；d = 25～30mm，b = 0.6～0.7mm；d > 30mm，b = 0.7～0.8mm。

锋角和后角尺寸如表 8-8 所示。

表 8-8　锋角与后角尺寸

钻头直径 d/mm	锋角 $2\kappa_r$ /（°）	后角 α_0 /（°）	钻头直径 d/mm	锋角 $2\kappa_r$ /（°）	后角 α_0 /（°）
<15	135~140	12~15	>30~40	125~130	8~10
>15~30	130~135	10~12	>40	120~125	7~8

修磨棱边，宽度为 0.5~1mm，后角为 30°。

采用钻不锈钢钻头，加工表面粗糙度可达 Ra3.2~6.3μm。可提高钻头使用寿命和生产效率。加工时应注意经常清除切削刃上的刀瘤，钻头未退出孔以前，不要停车。

（4）钻铝合金钻头（图 8-14）

钻铝合金钻头适用于加工铝合金材料件。

钻头前角 $\gamma_0=3°\sim5°$，外刃圆角半径 $R=\dfrac{d}{4}$，横刃与前面一起修磨成光滑圆弧连接，前面背光，不易粘刀瘤，切屑可顺利排出。

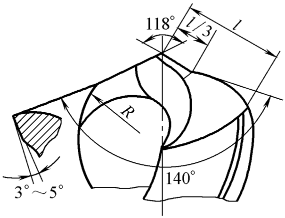


图 8-14　钻铝合金钻头

采用钻铝合金钻头，加工表面粗糙度可达 Ra3.2~6.3μm，可提高钻头使用寿命和生产效率。

（5）钻高锰钢用硬质合金钻头（图 8-15）

钻高锰钢用硬质合金钻头适用于加工高锰钢材料件。

钻头前角 $\gamma_0 = 0° \sim 5°$，后角 $\alpha_0 = 10° \sim 15°$，横刃斜角 $\psi = 77°$，横刃长（b）：$d = 16 \sim 18$mm 时，$b = 1.2$mm；$d = 20 \sim 22$mm 时，$b = 1.5$mm；$d = 24 \sim 30$mm 时，$b = 1.8 \sim 2$mm。此外硬质合金刀片上，还应磨有与钻头轴线成 6°的斜角。

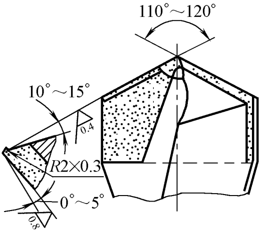


图 8-15　钻高锰钢用硬质合金钻头

采用钻高锰钢用硬质合金钻头，最好用硫化乳化切削液，可提高钻头使用寿命和生产效率。

（6）精钻孔钻头（图 8-16）

精钻孔钻头适用于加工低碳钢、中碳钢和不锈钢扩孔。

钻头前角 $\gamma_0 = 15° \sim 20°$，后角 $\alpha_0 = 15° \sim 17°$，最外缘处 $\approx 30°$，锋角修磨要对称，加工脆性材料时，$2\kappa_r = 100° \sim 115°$，$2\kappa_{r1} = 50° \sim 60°$；加工韧性材料时，$2\kappa_r = 100° \sim 110°$，$2\kappa_{r1} = 45° \sim 50°$，$B \approx 0.2D$。

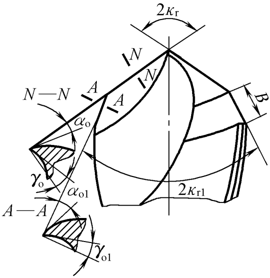


图 8-16　精钻孔钻头

棱边宽度为 0. 2 ~ 0. 4mm，副后角 $\alpha_1 = 6° \sim 8°$。

采用精钻孔钻头，加工精度可达 IT6 ~ IT8，表面粗糙度可达 $Ra0.4 \sim 0.8\mu m$。

（7）钻软橡胶钻头（图 8-17）

采用钻软橡胶钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3\mu m$。

（8）钻塑料、硬橡胶钻头（图 8-18）

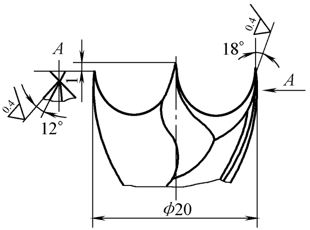


图 8-17　钻软橡胶钻头

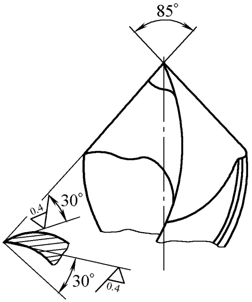


图 8-18　钻塑料、硬橡胶钻头

钻塑料、硬橡胶钻头适用于加工塑料和硬橡胶件。

钻头修磨前面，加大前角，后角 $\alpha_0 = 30°$，横刃长为 0. 3mm。

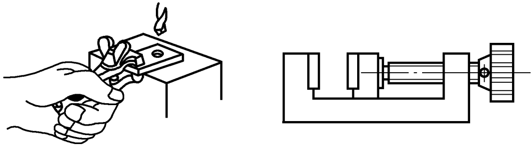
采用钻塑料、硬橡胶钻头，加工表面粗糙度可达 $Ra6.3\mu m$。

4. 工件的装夹方法

（1）常用装夹方法

1）手握或用手虎钳夹持。钻 6mm 以下的小孔，如果工件能用手握住，而且基本比较平整时，可以直接用手握住工件进行钻孔。

对于短小工件，用手不能握持时，必须用手虎钳或小型台虎钳来夹紧（图 8-19）。



a)　　b)

图 8-19　钻短小工件时的装夹

a）用手虎钳夹持工件　b）小型台虎钳

对于较长工件，虽然可用手握住，但最好在钻床台面上再用螺钉靠住工件（图 8-20），这样比较安全。

2）用机用平口虎钳装夹。在平整的工件上钻较大的孔时，一般采用机用平口虎钳装夹。装夹时在工件下面垫一木块，如果钻的孔较大，机用平口虎钳应用螺钉固定在钻床工作台面上（图 8-21）。

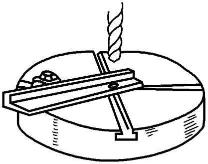


图 8-20　用螺钉靠住长工件

3）用 V 形铁装夹。在圆

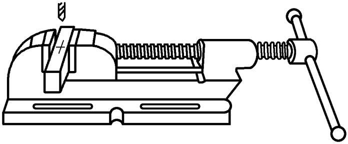
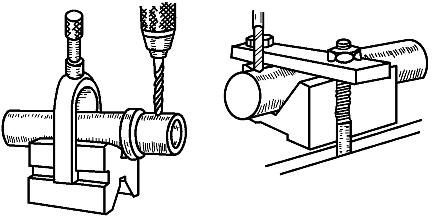
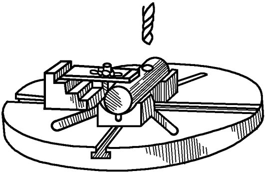


图 8-21　用机用平口虎钳装夹工件

柱形或套筒类工件上钻孔时，一般把工件放在 V 形铁上并配以压板压紧（图 8-22）。



a)　　b)



c)

图 8-22　用 V 形铁装夹工件

4）用角铁装夹。将工件装夹在已固定在钻床工作台面上的角铁上（图 8-23）。

5）在钻床工作台面上装夹工件。钻大孔或不适宜用机用平口虎钳装夹的工件，可直接用压板、螺栓把工件固定在钻床工作台面上（图 8-24）。

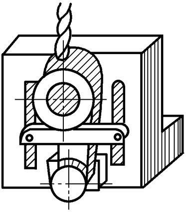


图 8-23　用角铁装夹工件

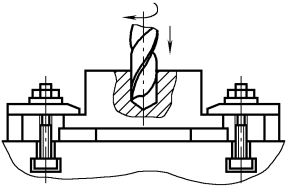


图 8-24　在钻床工作台面上装夹工件

（2）常用钻床夹具（钻模）的形式及特点

各类钻床上进行钻、扩、铰孔的夹具，统称为钻床夹具。

钻床夹具上，一般都装有距定位元件一定距离的钻套（因此钻床夹具习惯上又称钻模），通过钻套引导刀具就可以保证被加工孔的坐标位置，并防止钻头在切入后偏斜。

因为钻模能够保证并提高被加工孔的位置精度、尺寸精度，降低表面粗糙度，并大大缩短工序时间（可不用划线和找正工序），提高生产率等，所以钻模的应用较广泛。

在钻削加工中，工件上被加工孔的分布情况，一般可决定夹具的结构类型。例如，分布在工件同一表面有共同回转轴线的平行孔系，排列成直线的平行多孔，分布在工件不同表面或圆周上的径向孔等。因此钻床夹具的基本结构类型有：固定式、移动式、翻转式、盖板式和回转式（分度式）等。

1）固定式钻床夹具。在加工过程中，夹具和工件在机床上的位置始终保持不变，用于加工同一方向的直孔或斜孔。

应注意：加工直径大于 10mm 的孔时，夹具应固定在工作台上。安装夹具时，应先将装在主轴上的心轴（钻孔精度要求较低时，可直接用钻头）伸入钻套中，校正夹具位置后，将夹具紧固。

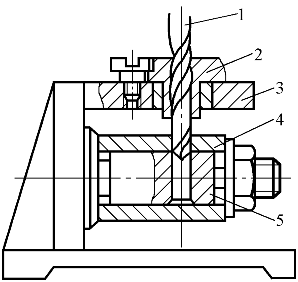


图 8-25　固定式钻模

1—钻头　2—钻套　3—钻模板　4—工件　5—心轴

固定式钻床夹具举例：

① 在套筒上加工一径向孔的固定式钻模（图 8-25）。

② 钻斜孔的固定式钻模（图 8-26）。

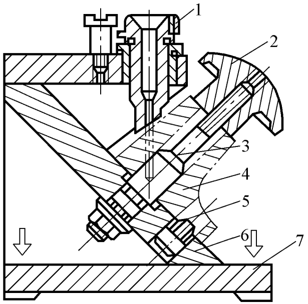


图 8-26　钻斜孔的固定式钻模

1—钻套　2—夹紧螺母　3—心轴　4—工件　5—菱形销　6—支承板　7—夹具体

2）移动式钻床夹具。被加工工件在同一平面的一条直线上具有多而密的孔时，可以采用移动式钻床夹具。

移动式钻模有工件移动、工件和夹紧工件的夹具体一起移动、工件不动、钻模板移动等几种方式，可根据工件结构特点选择使用。

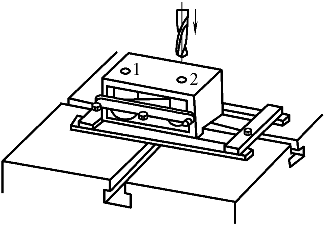


图 8-27　移动式钻模

移动式钻床夹

具举例：

如图 8-27 所示，工件和钻模装夹在一起，在夹具体两挡板中移动。当移至右端靠紧定位板时钻削孔 1，移至左端与定位板靠紧时钻削孔 2。

3）翻转式钻床夹具。工件一次装夹后，工件随同整个夹具在加工中做 180°、90°或其他特殊角度的翻转，完成几个方向孔加工的钻模。工件孔与孔之间的几何精度，由钻模本身的精度保证（如一般精度要求的不通孔同心度）。因在加工中要将整个钻模进行翻转，所以夹具力求轻便，翻转的底面要保证平整、稳固，并与钻套中心线相垂直。

翻转式钻床夹具举例：

图 8-28 为 60°翻转式钻模，用于加工套筒上两个方向的 4 个径向孔。当一个方向上的两个孔钻削完成后，将钻模翻转 60°就可钻另一方向上的两个孔。

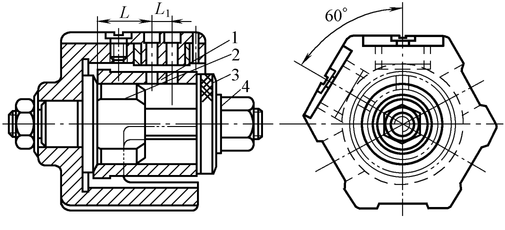


图 8-28　60°翻转式钻模

1—工件　2—心轴　3—开口垫圈　4—螺母

4）盖板式钻床夹具。盖板式钻床夹具是根据被加工工件的技术要求，按其坐标组成的钻模，并将它放在工件上直接进行加工的一种结构形式。

这种钻模一般用于加工较大工件上的孔，或较大工件上某一部位的孔（即局部的孔）。其形式可分直线座和圆周等分等。这类钻模本身既有导向装置，又有定位结构及夹紧装置。所以钻模应在保证刚性的基础上，尽量减轻其结构重量。这种钻模通常利用工件底面作安装基准面，因此，钻孔精度取决于工件本身精度及工件和钻模的安装精度。

盖板式钻床夹具举例：

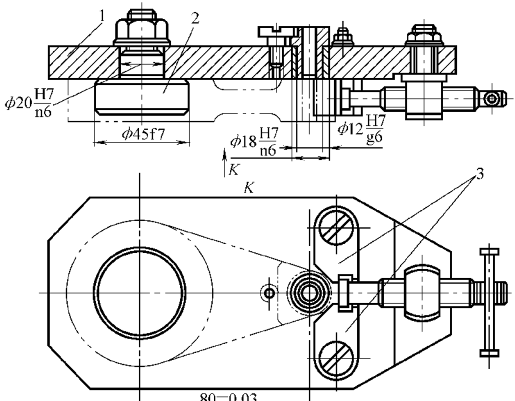


图 8-29　盖板式钻模

1—钻模板　2—定位销　3—摆动压块

图 8-29 所示为在一小型连杆上加工小头孔。夹具本身就是一块钻模板 1。利用定位销 2 和由两块摆动压块 3 组成的 V 形槽对中夹紧机构，在工件上实现定位和夹紧。

5）回转式（分度式）钻床夹具。是用于加工同心圆周上的平行孔系或分布在几个不同表面上的径向孔的钻模。有立轴类、卧轴类、斜轴类三个类型。其分度方法可采用标准的分度机构（回转分度台），也可利用加工工件自身的特点进行分度。

回转式（分度式）钻床夹具举例：

图 8-30 是标准回转分度台与专用夹具组合的立轴回转式钻模。

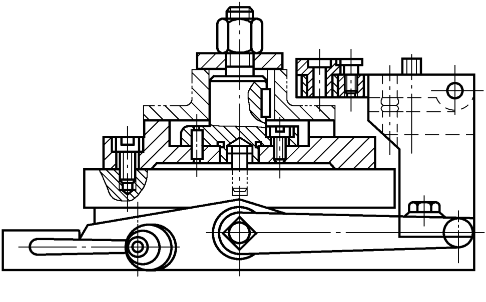


图 8-30　立轴回转式钻模

5. 钻削不同孔距精度所用的加工方法（表 8-9）

表 8-9　钻削不同孔距精度所用的加工方法

孔距精度/mm	加　工　方　法	适用范围
±0.25～0.5	划线找正、配合测量与简易钻模	单件、小批生产
±0.1～0.25	用普通夹具或组合夹具，配合快换卡头	小、中批生产
	盘、套类工件可用通用分度夹具	
±0.03～0.1	利用坐标工作台、指示表、量块、专用对刀装置或采用坐标、数控钻床	单件、小批生产
	采用专用夹具	大批、大量生产

6. 切削液的选用（表 8-10）

7. 常用的钻孔方法

1）钻削通孔时，当孔快要钻穿时，应变自动进刀为手动进刀，以避免钻穿孔的瞬间因进给量剧增而发生啃刀，影响加工质量和损坏钻头。

2）钻不通孔（盲孔）时，应按钻孔深度调整好钻床上的挡块、深度标尺等，或采用其他的控制方法，以免钻得过深或过浅，并应注意退屑。

3）钻削深孔时，当钻削深度达到钻头直径的 3 倍时，一般钻头就应退出排屑。此后，每钻进一定深度，

钻头就再退出排屑一次，并注意冷却润滑，防止切屑堵塞、钻头过热退火或扭断。

表 8-10　切削液的选用

加工材料	切　削　液
碳钢、合金钢	1）3% ~5% 乳化液 2）5% ~10% 极压乳化液
不锈钢、高温合金	1）10% ~15% 乳化液 2）10% ~20% 极压乳化液 3）含氯（氯化石蜡）的切削油 4）含硫、磷、氯的切削油
铸铁、黄铜	1）一般不加 2）3% ~5% 乳化液
纯铜、铝及其合金	1）3% ~5% 乳化液 2）煤油 3）煤油与菜籽油的混合油
硬橡胶、胶木、硬纸板	1）一般不加 2）风冷
有机玻璃	10% ~15% 乳化液

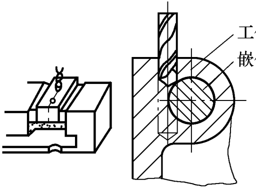
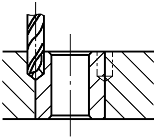
注：表中的百分数均为质量分数。

4）对直径超过 30mm 的大孔，一般应分两次钻削，第一次用 0.6 ~0.8 倍孔径的钻头，第二次用所需直径的钻头扩孔。扩孔钻头应使两条主切削刃长度相等、对称，否则会使孔径扩大。

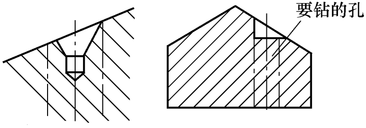
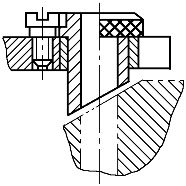
5）钻 ϕ1mm 以下的小孔时，开始进给力要轻，防止钻头弯曲和滑移，以保证钻孔试切的正确位置。钻削过程要经常退出钻头排屑和加注切削液。切削速度可选在 2000 ~3000r/min 以上，进给力应小而平稳，不宜过大过快。

8. 特殊孔的钻削方法（表 8-11）

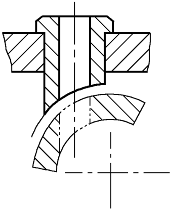
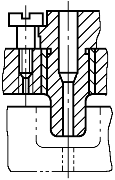
表 8-11　特殊孔的钻削方法

钻孔形式	图　　示	方 法 要 点
钻半(缺)圆孔	 a)　　b)	1）把两件合起来或用同样材料的垫块与工件并在一起钻(图 a) 2）用同样的材料镶嵌在工件内,钻孔后去掉这块材料,就形成了缺圆孔(图 b)
钻骑缝孔		1）钻头伸出钻夹头的长度应尽量短,且横刃应磨得较尖 2）若两种零件材料不同,样冲眼应大部分打在硬材料上,并在钻孔时使钻头略往硬材料一边偏

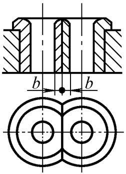
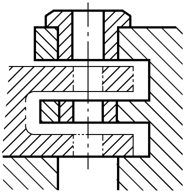
（续）

钻孔形式	图　　示	方 法 要 点
钻斜面上的孔	 a)  b)	1）先用样冲打一个较大的中心眼或用中心钻钻出中心孔，或用铣刀铣出个小平台，再用钻头钻孔（图a） 2）先使斜面处于水平位置装夹工件，用钻头钻出一个浅窝，再使斜面倾斜一些装夹，将浅窝钻大，经几次倾斜逐渐扩大浅窝，然后放正工件正式钻孔 3）用斜面钻套进行钻孔（图b）

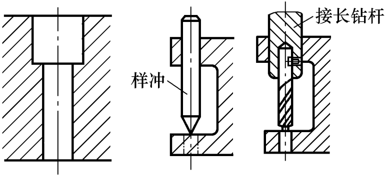
（续）

钻孔形式	图　　示	方 法 要 点
钻圆弧面上的孔		用圆弧面钻套进行钻孔
在工件凹腔内钻孔		用加长钻套进行钻孔。装卸工件时钻套可以提起,钻套上部孔径必须扩大,以减少与刀具的接触长度,减少摩擦

（续）

钻孔形式	图　　示	方 法 要 点
加工中心距较小的孔		用削边钻套进行钻孔。但应保证削边厚度 b 不小于 1～2mm
加工间断孔		用中间钻套进行钻孔。实际作用为双导向或多导向,以免钻头偏斜

（续）

钻孔形式	图　　示	方 法 要 点
钻二联孔	 a)　　b)　　c)	1）先钻大孔至平底深度，再改用小钻头将小孔钻穿，然后用平底钻锪平底孔（图 a） 2）先钻出上面大孔。当钻头横刃刚接触下面孔平面时，用横刃划出一个小圆线，然后按小圆线找正中心，打一个样冲眼，再钻孔（图 b） 3）先钻出大孔，然后用一根外径与大孔为动配合的接长杆，装上中心钻头，先钻一个定位孔后，再换上与小孔直径相同的钻头钻孔（图 c）

二、扩孔

扩孔是用扩孔刀具对工件上已有的孔进行扩大加工，如钻孔、铸孔、锻孔和冲孔的扩大加工。扩孔可以作为孔的最终加工，也可以作为铰孔、磨孔前的预加工工序。扩孔后，孔的公差等级一般可达 IT9～IT10，表面粗糙度值可达 *Ra*3.2～12.5μm。

1. 扩孔钻类型、规格范围及标准代号（表 8-12）

2. 扩孔方法

（1）用麻花钻扩孔

在实际生产中，常用经修磨的麻花钻当扩孔钻使用。

在实心材料上钻孔，如果孔径较大，不能用麻花钻一次钻出，常用直径较小的麻花钻预钻一孔，然后用大直径的麻花钻进行扩孔（图 8-31）。

在预钻孔上扩孔的麻花钻，几何参数与钻孔时基本相同。由于扩孔时避免了麻花钻横刃切削的不良影响，可适当提高切削用量。同时，由于背吃刀量减小，使切屑容易排出，因此扩孔后，孔的表面粗糙度也有一定的降低。

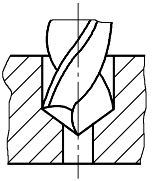
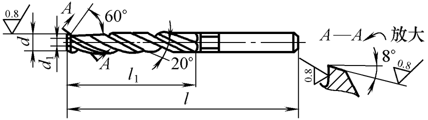
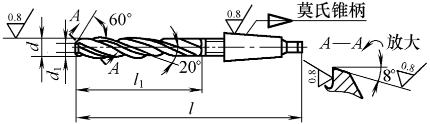
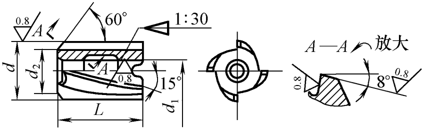


图 8-31　用麻花钻扩孔

用麻花钻扩孔时，扩孔前的钻孔直径为孔径的 0.5～0.7 倍，扩孔时的切削速度约为钻孔的 1/2，进给量约为钻孔的 1.5～2 倍。

（2）用扩孔钻扩孔

表 8-12　扩孔钻类型、规格范围及标准代号

类型	简图	规格范围[①] d/mm 推荐值	标准代号
直柄扩孔钻		3～19. 7	GB/T 4256—2004
莫氏锥柄扩孔钻		7. 8～50	GB/T 4256—2004
套式扩孔钻		25～100	GB/T 1142—2004

① 直径 d 的推荐值系常备的扩孔钻规格，用户有特殊需要时也可供应“分级范围”内的任一直径的扩孔钻。直径 $d \leqslant 6$mm 的扩孔钻可制成反顶尖。

扩孔钻的切削条件要比麻花钻头好。由于它的切削刃较多，因此扩孔时切削比较平稳，导向作用好，不易产生偏移。但为了提高扩孔的精度，还应注意以下几点：

1）钻孔后，在不改变工件和机床主轴相互位置的情况下，立即换上扩孔钻进行扩孔。这样可使钻头与扩孔钻的中心重合，使切削均匀平稳，保证加工质量。

2）扩孔前先用镗刀镗出一段直径与扩孔钻相同的导向孔（图8-32），这样可使扩孔钻在一开始就有较好的导向，而不致于随着原有不正确的孔偏斜。这种方法多用于在铸孔、锻孔上的扩孔。

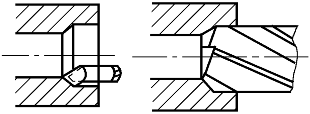


图8-32　扩孔前的镗孔

3）也可采用钻套为导向进行扩孔。

3. 扩孔、钻扩孔中常见问题的产生原因和解决方法（表8-13）

表8-13　扩孔、钻扩孔中常见问题的产生原因和解决方法

问题	产　生　原　因	解　决　方　法
孔径增大	1）扩孔钻切削刃摆差大 2）扩孔钻刃口崩刃	1）刃磨时保证摆差在允许范围内 2）及时发现崩刃情况,更换刀具

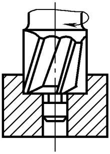
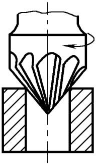
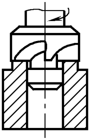
（续）

问题	产 生 原 因	解 决 方 法
孔径增大	3）扩孔钻刃带上有切屑瘤 4）安装扩孔钻时，锥柄表面油污未擦干净，或锥面有磕、碰伤	3）将刃带上的切屑瘤用油石修整到合格 4）安装扩孔钻前必须将扩孔钻锥柄及机床主轴锥孔内部油污擦干净，锥面有磕、碰伤处用油石修光
孔表面粗糙	1）切削用量过大 2）切削液供给不足 3）扩孔钻过度磨损	1）适当降低切削用量 2）切削液喷嘴对准加工孔口；加大切削液流量 3）定期更换扩孔钻；刃磨时把磨损区全部磨去
孔位置精度超差	1）导向套配合间隙大 2）主轴与导向套同轴度误差大 3）主轴轴承松动	1）位置公差要求较高时，导向套与刀具配合要精密些 2）校正机床与导向套位置 3）调整主轴轴承间隙

三、锪孔

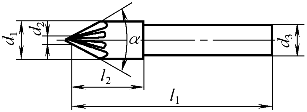
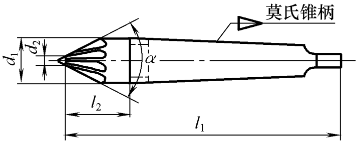
用锪钻对工件的孔口表面进行各种成形加工，称为锪孔（削）。常见的锪孔形式见表8-14。

表 8-14　常见的锪孔形式

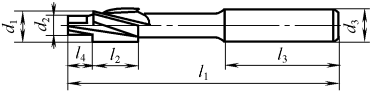
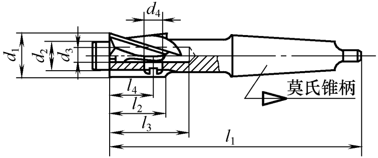
锪孔形式	图　　例
锪圆柱形沉孔	
锪圆锥形沉孔	
锪凸台平面	

1. 锪钻的类型、规格范围及标准代号(表 8-15)

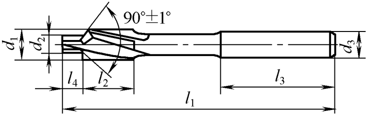
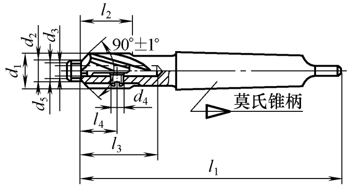
表 8-15　锪钻的类型、规格范围及标准代号

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
60°、90°、120°直柄锥面锪钻		d_1 8～25	GB/T 4258—2004
60°、90°、120°莫氏锥柄锥面锪钻		d_1 16～80	GB/T 1143—2004

（续）

类型	简　　图	规格范围 /mm	标准代号
带整体导柱的直柄平底锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.3×1.8 ~20×13.5	GB/T 4260—2004
带可换导柱的莫氏锥柄平底锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 13×6.6 ~61×33	GB/T 4261—2004

(续)

类型	简　　图	规格范围/mm	标准代号
带整体导柱的直柄90°锥面锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.7×1.8 ~17.6×9	GB/T 4263—2004
带可换导柱的莫氏锥柄90°锥面锪钻		$(d_1 \times d_2)$ 13.8×6.6 ~40.4×22	GB/T 4264—2004

2. 用麻花钻改制锪钻

1）用标准麻花钻改制成带导柱的平底锪钻（图 8-33）。一般选用比较短的麻花钻，在磨床上把麻花钻的端部磨出圆柱形导柱，其直径 d 与工件上已有的孔采用 f7 的间隙配合。端面上的切削刃用薄片砂轮磨出，后角一般为 $\alpha_0 = 8°$，麻花钻的螺旋槽与导柱面形成的刃口要用油石磨钝。

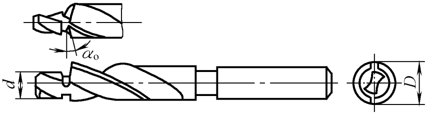


图 8-33　改制的带导柱的平底锪钻

若将标准麻花钻改制成不带导柱的平底锪钻（图 8-34），则它既可锪圆柱形沉孔，又可以锪平孔口端面。如果将图中的凸尖部全部磨平，则可用来锪平不通孔的孔底。

2）用标准麻花钻改制成锥形锪钻（图 8-35），其锥角

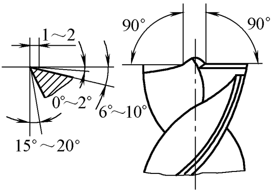


图 8-34　改制的不带导柱的平底锪钻

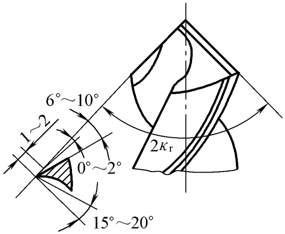


图 8-35　改制的锥形锪钻

按沉头孔规定的角度确定。为保证锪出的锥形沉头孔的表面粗糙度较小,后角磨得小些,一般取 $\alpha_0=6°\sim10°$,并有 1～2mm 的倒棱。麻花钻外缘处的前角也磨得小一些,一般取 $\gamma_0=15°\sim20°$,两切削刃要磨得对称。

3. 锪端面

(1) 简单端面锪钻

简单端面锪钻的结构形式见图 8-36,它由刀杆(镗杆)和刀片(高速钢)组成。刀杆上的方孔与刀片尺寸以 h6 的间隙配合,并与刀杆轴心线垂直。刀杆端部的外圆直径与工件已有孔采用 f7 间隙配合,以保证良好的引导作用,使锪出的端面与孔的中心线垂直。

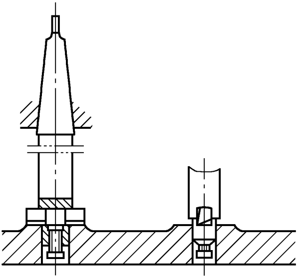


图 8-36　简单端面锪钻

刀片的角度,锪铸铁材料时 $\gamma_0=5°\sim10°$,锪钢时 $\gamma_0=15°\sim20°$,后角 $\alpha_0=6°\sim8°$,副后角 $\alpha_0'=4°\sim6°$。

图 8-37 所示为采用衬套作导向装置反锪端面。

(2) 多齿端面锪钻

多齿端面锪钻的刀体为套式,只在端面上有切削刃(图 8-38)。使用时与刀杆相配,靠紧定螺钉传递扭矩。刀杆的圆柱部分伸入工件已有孔内,起导向作用,保证锪削的平面与孔的中心线垂直。由于端面锪钻的加工对象主要是铸铁件,因此刀体上一般镶有硬质合金刀片。

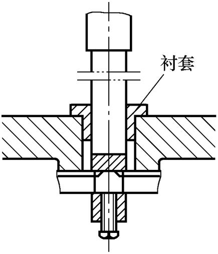


图 8-37 用衬套作导向装置

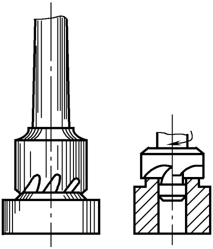


图 8-38 多齿端面锪钻

4. 锪孔中常见问题的产生原因和解决方法(表 8-16)

表 8-16 锪孔中常见问题的产生原因和解决方法

问题	产 生 原 因	解 决 方 法
锥面、平面呈多角形	1)前角太大,有扎刀现象 2)锪削速度太高 3)选择切削液不当 4)工件或刀具装夹不牢固 5)锪钻切削刃不对称	1)减小前角 2)降低锪削速度 3)合理选择切削液 4)重新装夹工件和刀具 5)正确刃磨

（续）

问题	产生原因	解决方法
平面呈凹凸形	锪钻切削刃与刀杆旋转轴线不垂直	正确刃磨和安装锪钻
表面粗糙度高	1）锪钻几何参数不合理 2）选用切削液不当 3）刀具磨损	1）正确刃磨 2）合理选择切削液 3）重新刃磨

四、铰削

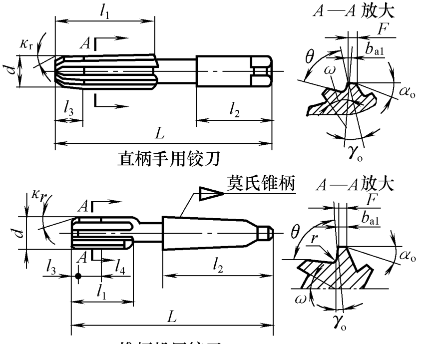
用铰刀对已经粗加工的孔进行精加工称为铰削（铰孔）。铰削可提高孔的尺寸精度，降低表面粗糙度值，铰削后孔的公差等级可达 IT9～IT7，表面粗糙度可达 $Ra0.8 \sim 3.2\mu m$。

1. 铰刀

铰刀使用范围较广，种类也很多。按使用方式可分为手用铰刀和机用铰刀两种；按铰刀结构可分为整体式铰刀、套式铰刀和可调节式铰刀三种；按切削部分的材料可分为高速钢铰刀和硬质合金铰刀；按铰刀用途可分为圆柱铰刀和锥度铰刀。

（1）铰刀的主要几何参数（表 8-17）

表 8-17 铰刀的主要几何参数



直柄手用铰刀

锥柄机用铰刀

d—铰刀直径　L—总长　L_1—工作部分　L_2—柄部　L_3—切削部分　L_4—圆柱校准部分　θ—齿槽截形夹角　κ_r—主偏角　γ_o—前角　α_o—后角　ω—齿间夹角　b_{a1}—棱边　F—齿背宽度

加工材料	铰刀切削部分的材料			
	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
	前角 γ_o		后角 α_o	
未淬硬钢	0 ~ 4	0 ~ −5	6 ~ 12	6 ~ 8
中硬钢	5 ~ 10	−5 ~ −10	6 ~ 12	6

（续）

加工材料	铰刀切削部分的材料			
	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
	前角 γ_o		后角 α_o	
不锈钢耐热钢	8～12	—	5～8	—
铜合金	0～5	—	10～12	—
镁合金	5～8	—	10～12	—
铝和铝合金	5～10	—	10～12	—
铸　铁	0	5	6～8	8～10

（2）常用铰刀类型、标准代号及规格范围(表8-18)

（3）铰刀磨钝标准及耐用度

1）铰刀磨钝标准见表8-19。

2）铰刀耐用度见表8-20。

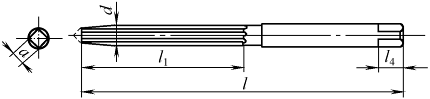
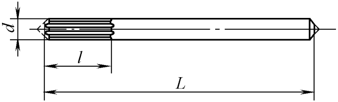
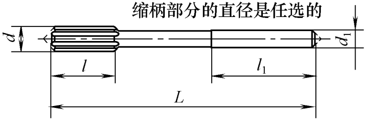
2. 铰削方法

（1）铰刀直径的确定及铰刀的研磨

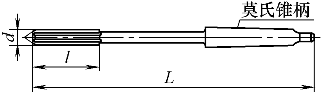
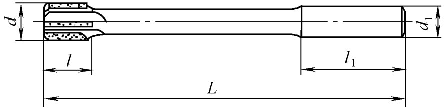
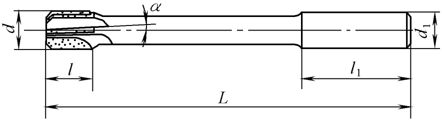
铰刀的直径和公差直接影响被加工孔的尺寸精度。在确定铰刀的直径和公差时,应考虑被加工孔的公差、铰孔时的扩张或收缩量、铰刀使用时的磨损量以及铰刀本身的制造公差等。

铰孔后孔径可能缩小,其缩小因素很多,目前对收缩量的大小尚无统一规定。一般对铰刀直径的确定多采用经验数值。

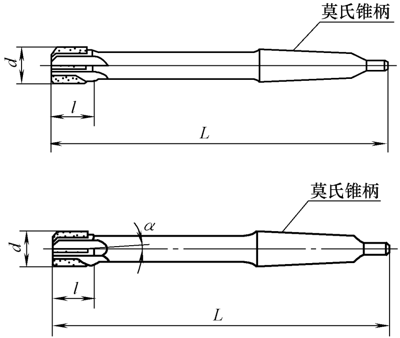
表 8-18　常用铰刀类型、标准代号及规格范围

类型	图　　示	规格范围 /mm
手用铰刀 (GB/T 1131.1 ~2—2004)		$d \times l \times l_1$ 3.5×71×35 ~50×347×174 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
直柄机用铰刀(GB/T 1132—2004)	 a)  b)	$d \times L \times l$ 3.5×70×18 ~20×195×60 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

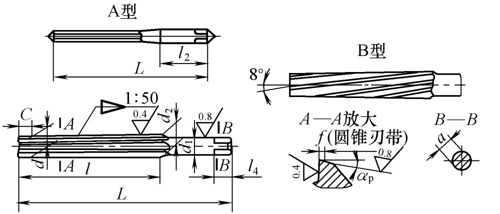
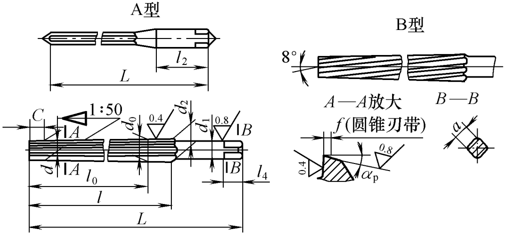
（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
莫氏锥柄机用铰刀（GB/T 1132—2004）		$d \times L \times l$ 5.5×138×26 ～50×344×86 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
硬质合金机用铰刀（GB/T 4251—2008）		$d \times d_1 \times L \times l$ 6×5.6×93×17 ～20×16×195×25 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

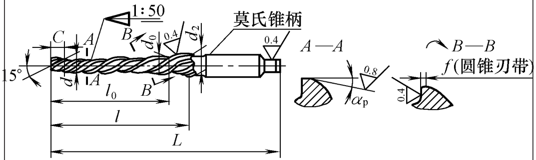
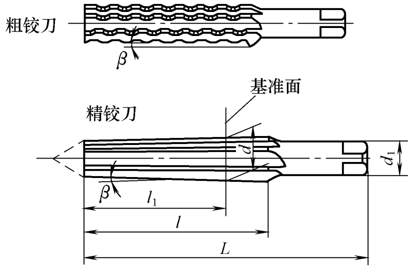
（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
硬质合金机用铰刀（GB/T 4251—2008）		$d \times L \times l$ 8 × 156 × 17 ~40 × 321 × 34 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

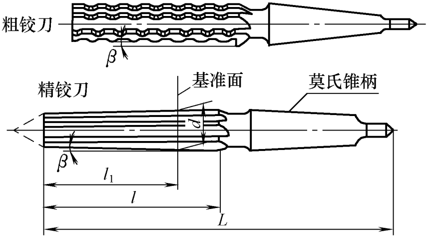
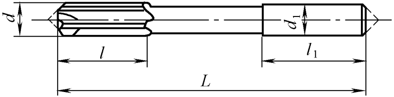
（续）

<table>
<tr><th>类型</th><th>图　　示</th><th>规格范围
/mm</th></tr>
<tr><td>手用 1∶50 锥度销子铰刀（JB/T 7956.1—1999）</td><td>
</td><td>$d\times L\times l\times d_2$
0. 6 × 35 × 10 × 0. 7
～50 × 300 × 220 × 54. 1</td></tr>
<tr><td>手用长刃 1∶50 锥度销子铰刀（JB/T 7956.2—1999）</td><td>
</td><td>$d\times L\times l\times d_0\times d_2$
0. 6 × 38 × 20 × 0. 76 × 0. 9
～50 × 460 × 360 × 56 × 56. 9</td></tr>
</table>

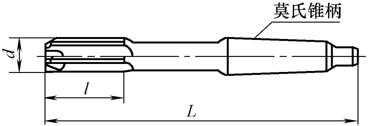
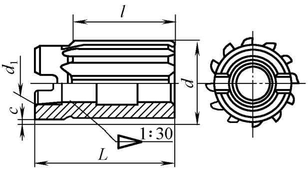
（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
锥柄机用 1∶50 锥度销子铰刀（JB/T 7956.3—1999）		$d \times L \times l \times l_0 \times d_0$ 5 × 155 × 73 × 65 × 6.2 ～50 × 500 × 360 × 315 × 56
直柄莫氏圆锥和米制圆锥铰刀（GB/T 1139—2004）		圆锥号 米制:4、6 莫氏:0～6

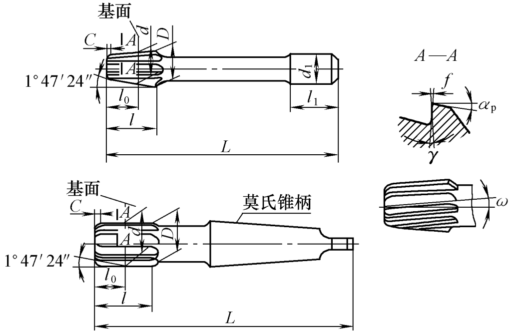
（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
锥柄莫氏圆锥和米制圆锥铰刀（GB/T 1139—2004）		圆锥号 米制：4、6 莫氏：0～6
带刃倾角直柄机用铰刀（GB/T 1134—2008）		$d \times L \times l$ 5.5×93×26 ～20×195×60 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

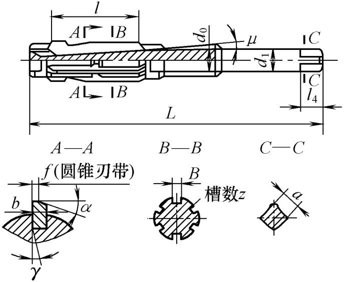
（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
带刃倾角莫氏锥柄机用铰刀（GB/T 1134—2008）		$d \times L \times l$ 8 × 156 × 33 ～40 × 329 × 81 分为 H7、H8、H9 三个精度等级
套式机用铰刀（GB/T 1135—2004）		$d \times L \times l$ 25 × 45 × 32 ～100 × 100 × 71 分为 H7、H8、H9 三个精度等级

（续）

类型	图　　示	规格范围 /mm
米制锥螺纹锥孔铰刀		螺纹代号 ZM6 ~ ZM60

（续）

类型	图　　示	规格范围/mm
可调节手用铰刀（JB/T 3869—1999）		调节范围(直径)（6.5～7.0）～（84～100）

（续）

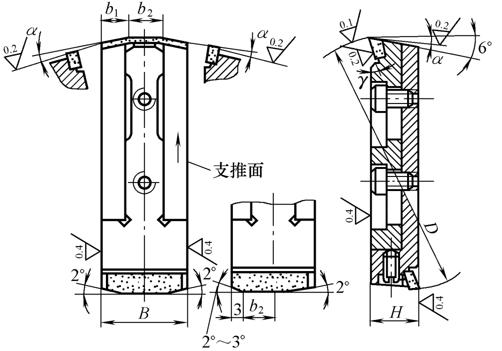
类型	图　　示	规格范围 /mm
硬质合金可调节浮动铰刀（JB/T 7426—2006）	 A 型（加工通孔）　B 型（加工不通孔）	调节范围×D （30～33）×30 ～（210～230）× 210

表 8-19　铰刀磨钝标准

<table>
<tr><td rowspan="3">刀具材料</td><td rowspan="3">加工材料</td><td colspan="2">铰刀直径 d_0/mm</td></tr>
<tr><td>≤20</td><td>>20</td></tr>
<tr><td colspan="2">后刀面最大磨损限度/mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">高速钢</td><td>钢</td><td>0.3～0.5</td><td>0.5～0.7</td></tr>
<tr><td>铸铁</td><td>0.4～0.6</td><td>0.6～0.9</td></tr>
<tr><td rowspan="2">硬质合金</td><td>钢(扩孔)铸铁</td><td>0.4～0.6</td><td>0.6～0.8</td></tr>
<tr><td>淬硬钢</td><td colspan="2">0.3～0.35</td></tr>
</table>

表 8-20　铰刀寿命(单刀加工)

<table>
<tr><td rowspan="3">加工材料</td><td rowspan="3">刀具材料</td><td colspan="7">铰刀直径 d_0/mm</td></tr>
<tr><td>6～10</td><td>11～20</td><td>21～30</td><td>31～40</td><td>41～50</td><td>51～60</td><td>61～80</td></tr>
<tr><td colspan="7">铰刀寿命 T/min</td></tr>
<tr><td rowspan="2">结构钢、铸钢</td><td>高速钢</td><td>—</td><td>40</td><td colspan="2">80</td><td colspan="3">120</td></tr>
<tr><td>硬质合金</td><td>20</td><td>30</td><td>50</td><td>70</td><td>90</td><td>110</td><td>140</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铸铁、铜合金、铝合金</td><td>高速钢</td><td>—</td><td>60</td><td colspan="2">120</td><td colspan="3">180</td></tr>
<tr><td>硬质合金</td><td>—</td><td>45</td><td>75</td><td>105</td><td>135</td><td>165</td><td>210</td></tr>
</table>

铰削基准孔时铰刀公差可按下式确定：

$$上偏差 = \frac{2}{3}被加工孔公差$$

$$es = \frac{2}{3}IT$$

$$下偏差 = \frac{1}{3}被加工孔公差$$

$$ei = \frac{1}{3}IT$$

例：若工件被加工孔的尺寸为 $\phi16^{+0.027}_{0}$ mm，求所用铰刀的直径尺寸。

解：铰刀直径的基本尺寸应为 ϕ16mm。

铰刀公差：

$$上偏差\ es = \frac{2}{3}IT = \frac{2}{3} \times 0.027mm = 0.018mm$$

$$下偏差\ ei = \frac{1}{3}IT = \frac{1}{3} \times 0.027mm = 0.009mm$$

因此，所选用的铰刀尺寸应为 $\phi16^{+0.018}_{+0.009}$ mm。

新的标准圆柱铰刀，直径上留有研磨余量，而且棱边的表面粗糙度也较高，所以铰削标准公差等级在 IT8 以上的孔时，先要将铰刀直径研磨到所需要的尺寸精度。

研磨铰刀的方法有以下几种：

1）径向调整式研磨工具（图 8-39），它是由壳套、研套和调整螺钉组成的。孔径尺寸用精镗或由待研的铰刀铰出，研套上铣出开口斜槽，由调整螺钉控制研套的弹性变形，进行研磨以达到要求的尺寸。

径向调整式研磨工具制造方便，但研套的孔径尺寸不易调成一致，所以研磨的精度不高。

2）轴向调整式研磨工具（图 8-40），它是由壳套、

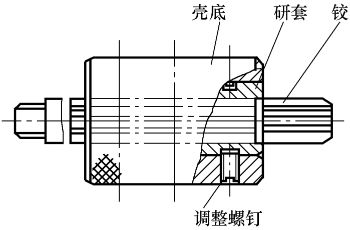


图 8-39　径向调整式研磨工具

研套、调整螺母和限位螺钉组成的。研套和壳套以圆锥配合。研套沿轴向铣有开口直槽，这样可依靠弹性变形改变孔径的尺寸。研套外圆上还铣有直槽，在限位螺钉的控制下，只能作轴向移动而不能转动。旋动两端的调整螺母，研套在轴向移动的同时使研套的孔径得到调整。

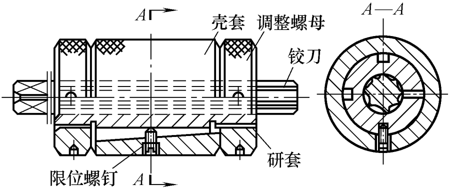


图 8-40　轴向调整式研磨工具

轴向调整式研磨工具的研套孔径胀缩均匀、准确，能使尺寸公差控制在很小的范围内，所以适用于研磨精密铰刀。

3）整体式研磨工具（图 8-41），它由铸铁棒加工而成，孔径尺寸最后由待研的铰刀铰出。这种研具制造简单，但没有调整量，只适用于研磨单件生产精度要求不高的铰刀。

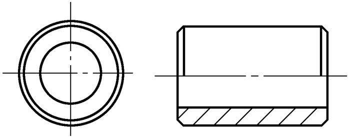


图 8-41　整体式研磨工具

研磨工具的研套材料常用铸铁。所用研磨剂可参看（表 9-24 ~ 表 9-26）研磨膏一节，也可参考后自行配制。

无论采用哪种研具，研磨方法都相同。铰刀用两顶尖和拨盘装夹在车床上。研磨时铰刀由拨盘带动旋转（图 8-42），旋转方向要与铰削方向相反，转速以 40 ~ 60r/min 为宜。研具套在铰刀的工作部分，将研套孔的尺寸调整到能在铰刀上自由滑动和转动为宜。研磨剂的放置要均匀。研磨时，用手握住研具作轴向均匀的往复移动。

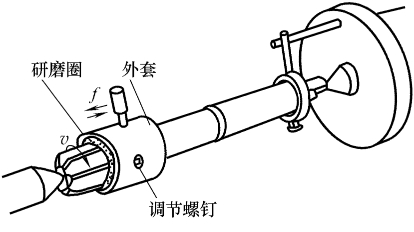


图 8-42　铰刀的研磨

研磨过程中要随时注意检查。并要及时清除铰刀沟槽中的研垢，并重新换上研磨剂再研磨。

（2）铰刀在使用中的修磨

铰刀在使用中可以通过手工修磨，保持和提高其良好的切削性能。

1）研磨或修磨后的铰刀，为了使切削刃顺利地过渡到校准部分，必须用油石仔细地将过渡处的尖角修成小圆弧（图8-43），并要求各齿圆弧大小一致，以免因圆弧不一致而产生径向偏摆。

2）铰刀刃口有毛刺或粘结切屑瘤时，要用油石研掉。

3）切削刃后面磨损不严重时，可用油石沿切削刃的垂直方向，轻轻研磨，加以修光（图8-44）。

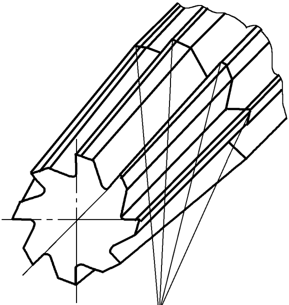


图8-43　切削刃与校准部分过渡处尖角

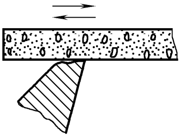


图8-44　铰刀后面的研磨

若要将铰刀刃带的宽度磨窄时，也可用上述方法将刃带研出1°左右的小斜面（图8-45），并保持需要的刃带宽度。但研磨后面时，不能将油石沿切削刃方向推动（图8-46），这样很可能会将刀齿刃口磨圆，从而降低其切削性能。

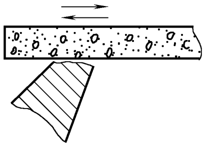


图 8-45　修磨铰刀刃带

4）当刀齿前面需要研磨时，应将油石紧贴在前面，沿齿槽方向轻轻推动，进行研磨但应特别注意不要研坏刃口。

5）铰刀在研磨时，切勿将刃口研凹，必须保持铰刀原有的几何形状。

（3）铰削余量的选择

正确选择铰削余量，既能保证加工孔的精度，又能提高铰刀的使用寿命。铰削余量应依据加工孔径的大小、精度、表面粗糙度、材料的软硬、上道工序的加工质量和铰刀类型等多种因素进行选择。对铰削精度要求较高的孔，必须经过扩孔或粗铰孔工序后才能进行精铰，这样才能保证铰孔的质量。一般铰削余量的选择可参看表8-21。

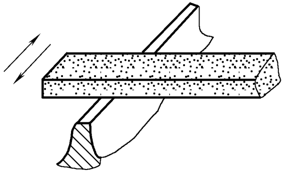


图 8-46　不正确的研磨方法

表 8-21　铰削余量（单位：mm）

铰孔直径	<5	5~20	21~32	33~50	51~70
铰孔余量	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3	0.5	0.8

（4）铰削时切削液的选用（表 8-22）

表 8-22　切削液的选用

加工材料	切　削　液
钢	1）10%~20%乳化液 2）铰孔要求高时，采用30%菜油和70%肥皂水 3）铰孔要求更高时，可采用菜籽油、柴油和猪油等
铸铁	1）一般不用 2）煤油，但会引起孔径缩小，最大收缩量为0.02~0.04mm 3）低浓度乳化液
铝	煤油
铜	乳化液

注：表中的百分数均为质量分数。

（5）手工铰孔应注意的事项

1）工件装夹位置要正确，应使铰刀的中心线与孔的中心线重合。对薄壁工件的夹紧力不要过大，以免将孔夹扁，铰削后产生变形。

2）在铰削过程中，两手用力要平衡，旋转铰手的速度要均匀，铰手不得摆动，以保持铰削的稳定性，避免将孔径扩大或将孔口铰成喇叭形。

3）铰削进给时，不要用过大的力压铰手，而应随

着铰刀的旋转轻轻地对铰手加压，使铰刀缓慢地引伸进入孔内，并均匀的进给，以保证孔的加工质量。

4）注意变换铰刀每次停歇的位置，以消除铰刀在同一处停歇所造成的振痕。

5）铰刀不能反转，即使退刀时也不能反转，即要按铰削方向边旋转边向上提起铰刀。铰刀反转会使切屑卡在孔壁和后面之间，将孔壁刮毛。同时，铰刀也容易磨损，甚至造成崩刃。

6）铰削钢料工件时，切屑碎末容易粘附在刀齿上，应经常清除。

7）在铰削过程中，即使铰刀被切屑卡住，也不能用力扳转铰手，以防损坏铰刀。应想办法将铰刀退出，清除切屑后，再加切削液，继续铰削。

（6）机动铰孔应注意的事项

1）必须保证钻床主轴、铰刀和工件孔三者的同轴度。当孔精度要求较高时，应采用浮动式铰刀夹头装夹铰刀，以调整铰刀的轴线位置。

常用的浮动式铰刀夹头有两种：图 8-47 是一种比较简单的浮动式铰刀夹头，图中只有销轴与夹头体为间隙配合，装锥柄铰刀的套筒只能在此轴转动方向有浮动范围，所以铰刀轴心线的调整受到一定限制，只适用于轴心线偏差不大的工件采用。图 8-48 为万向浮动式铰刀夹头，图中套筒上端为球面，与垫块零件以点接触，这样，在销轴与夹具体配合间隙许可的范围内，铰刀的浮动范围得到扩大，所以铰刀可以在任意方向调整铰刀轴心线的偏差。这种铰刀夹头适用于要求精度较高孔的

加工使用。

2）开始铰削时先采用手动进给，当铰刀切削部分进入孔内以后，再改用自动进给。

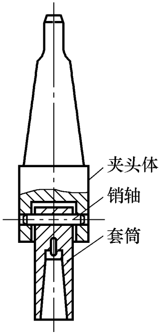


图 8-47　浮动式铰刀夹头

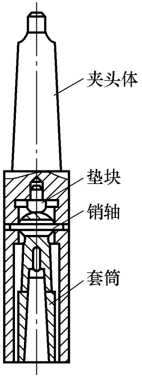


图 8-48　万向浮动式铰刀夹头

3）铰削不通孔时，应经常退刀，清除刀齿和孔内的切屑，以防切屑刮伤孔壁。

4）铰削通孔时，铰刀校准部分不能全部铰出头，以免将孔的出口处刮坏。

5）在铰削过程中，必须注入足够的切削液，以清除切屑和降低切削温度。

6）铰孔完毕，应不停车退出铰刀，以免停车退出时拉伤孔壁。

（7）圆锥孔的铰削

1）铰削尺寸较小的圆锥孔。先按圆锥孔小端直径并留铰削余量钻出圆柱孔，孔口按圆锥孔大端直径锪出45°的倒角，然后用圆锥铰刀铰削。在铰削过程中一定要及时地用精密配锥（或圆锥销）试深控制尺寸（图8-49）。

2）铰削尺寸较大的圆锥孔。铰孔前先将工件钻出阶梯孔（图8-50）。1∶50的圆锥孔可钻两节阶梯孔；1∶10圆锥孔、1∶30圆锥孔、莫氏锥孔和圆锥管螺纹底孔可钻三节阶梯孔。阶梯孔的最小直径按锥孔小端直径确定，并留有铰削余量。其余各段直径可根据锥度计算公式算得。

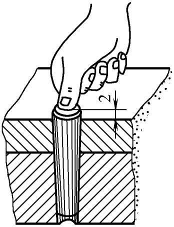
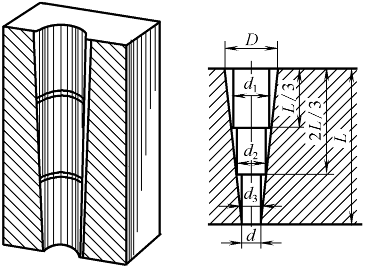


图8-49　用圆锥销检查铰孔尺寸



a)　　　b)

图8-50　预钻阶梯孔

3. 多刃铰刀铰孔中常见问题的产生原因和解决方法（表8-23）

表 8-23　多刃铰刀铰孔中常见问题的产生原因和解决方法

问题	产生原因	解决方法
孔径增大，误差大	1）铰刀外径尺寸设计值偏大或铰刀刃口有毛刺 2）切削速度过高 3）进给量不当或加工余量太大 4）铰刀主偏角过大 5）铰刀弯曲 6）铰刀刃口上粘附着切屑瘤 7）刃磨时铰刀刃口摆差超差 8）切削液选择不合适 9）安装铰刀时，锥柄表面油污未擦干净，或锥面有磕、碰伤 10）锥柄的扁尾偏位，装入机床主轴后与锥柄圆锥干涉 11）主轴弯曲或主轴轴承过松或损坏 12）铰刀浮动不灵活，与工件不同轴 13）手铰孔时两手用力不均匀，使铰刀左右晃动	1）根据具体情况适当减小铰刀外径；将铰刀刃口毛刺修光 2）降低切削速度 3）适当调整进给量或减少加工余量 4）适当减小主偏角 5）校直或报废弯曲铰刀 6）用油石仔细修整到合格 7）控制摆差在允许范围内 8）选择冷却性能较好的切削液 9）安装铰刀前必须将铰刀锥柄及机床主轴锥孔内部油污擦干净，锥面有磕、碰伤处用油石修光 10）修磨铰刀扁尾 11）调整或更换主轴轴承 12）重新调整浮动卡头，并调整同轴度 13）注意正确操作

（续）

问题	产　生　原　因	解　决　方　法
孔径小	1）铰刀外径尺寸设计值偏小 2）切削速度过低 3）进给量过大 4）铰刀主偏角过小 5）切削液选择不合适 6）铰刀已磨损，刃磨时磨损部分未磨去 7）铰薄壁钢件时，铰完孔后内孔弹性恢复使孔径缩小 8）铰钢料时，余量太大或铰刀不锋利，亦易产生弹性恢复，使孔径缩小 9）内孔不圆，孔径不合格	1）更改铰刀外径尺寸 2）适当提高切削速度 3）适当降低进给量 4）适当增大主偏角 5）选择润滑性能好的油性切削液 6）定期更换铰刀，正确刃磨铰刀切削部分 7）设计铰刀尺寸时应考虑此因素，或根据实际情况取值 8）作试验性切削，取合适余量；将铰刀磨锋利 9）见内孔不圆一项

（续）

问题	产 生 原 因	解 决 方 法
内孔不圆	1）铰刀过长，刚性不足，铰削时产生振动	1）刚性不足的铰刀可采用不等分齿距的铰刀；铰刀的安装应采用刚性连接
	2）铰刀主偏角过小	2）增大主偏角
	3）铰刀刃带窄	3）选用合适的铰刀
	4）铰孔余量偏	4）控制预加工工序的孔位误差
	5）孔表面有缺口、交叉孔	5）采用不等分齿距的铰刀；采用较长、较精密的导向套
	6）孔表面有砂眼、气孔	6）选用合格的毛坯
	7）主轴轴承松动，无导向套，或铰刀与导向套配合间隙过大	7）采用等齿距铰刀加工较精密的孔时，对机床主轴间隙与导向套的配合间隙应要求较高
	8）由于薄壁工件装夹得过紧，卸下后工件变形	8）采用恰当的夹紧方法，减小夹紧力

（续）

问题	产 生 原 因	解 决 方 法
孔表面有明显的棱面	1）铰孔余量过大 2）铰刀切削部分后角过大 3）铰刀刃带过宽 4）工件表面有气孔砂眼 5）主轴摆差大	1）减小铰孔余量 2）减小切削部分后角 3）修磨刃带宽度 4）选用合格毛坯 5）调整机床主轴
孔表面粗糙	1）切削速度过高 2）切削液选择不合适 3）铰刀主偏角过大，铰刀刃口不等 4）铰孔余量太大 5）铰孔余量不均匀或太小，局部表面未铰到 6）铰刀切削部分摆差超差，刃口不锋利，表面粗糙	1）降低切削速度 2）根据加工材料选择切削液 3）适当减小主偏角，正确刃磨铰刀刃口 4）适当减小铰孔余量 5）提高铰孔前底孔位置精度与质量，或增加铰孔余量 6）选用合格铰刀

（续）

问题	产　生　原　因	解　决　方　法
孔表面粗糙	7）铰刀刃带过宽	7）修磨刃带宽度
	8）铰孔时排屑不良	8）根据具体情况减少铰刀齿数，加大容屑空间；或采用带刃倾角的铰刀，使排屑顺利
	9）铰刀过度磨损	9）定期更换铰刀，刃磨时把磨损区全部磨去
	10）铰刀碰伤，刃口留有毛刺或崩刃	10）铰刀在刃磨、使用及运输过程中应采取保护措施，避免磕、碰伤；对已碰伤的铰刀，应用特细的油石将磕、碰伤修好，或更换铰刀
	11）刃口有积屑瘤	11）用油石修整到合格
	12）由于材料关系，不适用零度前角或负前角铰刀	12）采用前角为5°～10°的铰刀

（续）

问题	产　生　原　因	解　决　方　法
铰刀寿命低	1）铰刀材料不合适 2）铰刀在刃磨时烧伤 3）切削液选择不合适，切削液未能顺利地流到切削处 4）铰刀刃磨后表面粗糙度太高	1）根据加工材料选择铰刀材料，可采用硬质合金铰刀或涂层铰刀 2）严格控制刃磨切削用量，避免烧伤 3）根据加工材料正确选择切削液；经常清除切屑槽内的切屑，并采用足够压力的切削液 4）通过精磨或研磨达到要求
孔位置精度超差	1）导向套磨损 2）导向套底端距工件太远，导向套长度短，精度差 3）主轴轴承松动	1）定期更换导向套 2）加长导向套，提高导向套与铰刀间的配合精度 3）及时维修机床，调整主轴轴承间隙

（续）

问题	产　生　原　因	解　决　方　法
铰刀刀齿崩刃	1）铰孔余量过大 2）工件材料硬度过高 3）切削刃摆差过大，切削载荷不均匀 4）铰刀主偏角太小，使切削宽度增大 5）铰深孔或不通孔时，切屑太多，又未及时清除 6）刃磨时刀齿已磨裂	1）修改预加工的孔径尺寸 2）降低材料硬度，或改用负前角铰刀或硬质合金铰刀 3）控制摆差在合格范围内 4）加大主偏角 5）注意及时清除切屑或采用带刃倾角的铰刀 6）注意刃磨质量
铰刀柄部折断	1）铰孔余量过大 2）铰锥孔时，粗、精铰削余量分配及切削用量选择不合适 3）铰刀刀齿容屑空间小，切屑堵塞	1）修改预加工的孔径尺寸 2）修改余量分配，合理选择切削用量 3）减少铰刀齿数，加大容屑空间；或将刀齿间隔磨去一齿

（续）

问题	产 生 原 因	解 决 方 法
铰孔后孔的中心线不直	1）铰孔前的钻孔不直，特别是孔径较小时，由于铰刀刚性较差，不能纠正原有的弯曲度 2）铰刀主偏角过大，导向不良，使铰刀在铰削中容易偏离方向 3）切削部分倒锥过大 4）铰刀在断续孔中部间隙处位移 5）手铰孔时，在一个方向上用力过大，迫使铰刀向一边偏斜，破坏了铰孔的垂直度	1）增加扩孔或镗孔工序来校正孔 2）减小主偏角 3）调换合适的铰刀 4）调换有导向部分或加长切削部分的铰刀 5）注意正确操作

第九章　钳 工 加 工

一、刮削

刮削是在标准工具的工作面上涂以显示剂，与被刮工件两者合研显点（凸点），然后利用刮刀将高点金属刮除。这种方法具有切削量小、切削力小、产生热量少、加工方便和装夹变形小等特点。通过刮削后的工件表面，能获得很高的形位精度、尺寸精度、接触精度、传动精度，降低表面粗糙度。另外，刮削后留下的一层薄花纹，既可增加工件表面的美观又可储油，同时又润滑工件接触表面，减少摩擦，提高工件使用寿命。

由于刮削使用的工具简单，又不受工件形状和位置的限制，从而能获得很高的精度，所以较广泛地应用于机械制造中，如机床导轨面、转动轴颈和滑动轴承之间的接触面、工具和量具的接触面以及密封表面等。

1. 常见刮削的应用及刮削面种类

（1）常见刮削应用举例（表 9-1）。

表 9-1　常见刮削应用举例

应 用 举 例	刮 削 后 的 效 果
相互运动的导轨副	有良好的接触率，承受压力大，耐磨性好，运动精度稳定
相互连接的结合面	增加连接刚性，传动件几何精度稳定，不易变形

（续）

应用举例	刮削后的效果
密封性结合面	提高密封性能，防止气体和液体泄漏
具有配合公差的面（孔）	有良好的接触率，理想的配合精度，运动件精度稳定
机床装配几何精度	使各部件之间相互精度要求一致，保证机床工作精度

（2）刮削面种类（表9-2）。

表9-2　刮削面种类

种类		示例
平面	单个平面	平板、平尺、工作台面等
	组合平面	平V形导轨面、燕尾槽导轨面、矩形导轨面等
曲面	圆柱面、圆锥面	圆孔、锥孔滑动轴承，圆柱导轨，锥形圆环导轨等
	球面	自位球面轴承、配合球面等
	成形面	齿条、蜗轮的齿面等

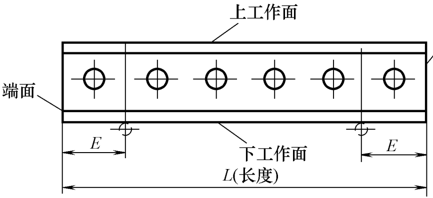
2. 刮削工具

（1）通用刮削工具

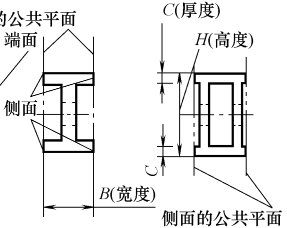
1）铸铁平尺。

①　铸铁平尺的精度分00级、0级、1级和2级。铸铁平尺的形状及基本尺寸见表9-3。

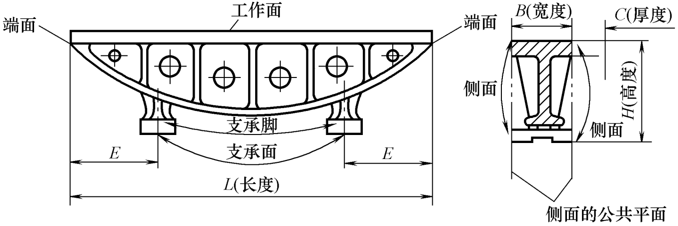
表 9-3　铸铁平尺的形状及基本尺寸（JB/T7977—1999）　（单位：mm）



a) Ⅰ字形



b) Ⅱ字形



c) 桥形

（续）

规格	Ⅰ字形和Ⅱ字形平尺				桥 形 平 尺			
	L	*B*	*C*	*H*	*L*	*B*	*C*	*H*
400	400	30	≥8	≥75	—	—	—	—
500	500	30	≥8	≥75	—	—	—	—
630	630	35	≥10	≥80	—	—	—	—
800	800	35	≥10	≥80	—	—	—	—
1000	1000	40	≥12	≥100	1000	50	≥16	≥180
1250	1250	40	≥12	≥100	1250	50	≥16	≥180
1600	1600*	45	≥14	≥150	1600	60	≥24	≥300
2000	2000*	45	≥14	≥150	2000	80	≥26	≥350
2500	2500*	50	≥16	≥200	2500	90	≥32	≥400

（续）

规格	Ⅰ字形和Ⅱ字形平尺				桥形平尺			
	L	B	C	H	L	B	C	H
3000	3000 *	55	≥20	≥250	3000	100	≥32	≥400
4000	4000 *	60	≥20	≥280	4000	100	≥38	≥500
5000	—	—	—	—	5000	110	≥40	≥550
6300	—	—	—	—	6300	120	≥50	≥600

测试项目	精度等级			
	00	0	1	2
25mm×50mm 单位面积内接触点面积的比率	≥20%		≥16%	≥10%
25mm×25mm 面积内接触点数	≥25			≥20

注：1. 带“ * ”尺寸，建议制成Ⅱ字形平尺。

2. 距工作面边缘 0.01L（最大为 10mm）范围内接触点面积的比率或接触点数不计，且任意一点都不得高于工作面。

② 铸铁平尺工作面的直线度公差及任意200mm的直线度公差（表9-4）。

表9-4 铸铁平尺工作面的直线度公差

规格尺寸/mm	精度等级			
	00	0	1	2
	直线度公差/μm			
400	1.6	2.6	5	—
500	1.8	3.0	6	—
630	2.1	3.5	7	—
800	2.5	4.2	8	—
1000	3.0	5.0	10	20
1250	3.6	6.0	12	24
1600	4.4	7.4	15	30
2000	5.4	9.0	18	36
2500	6.6	11.0	22	44
3000	7.8	13.0	26	52
4000	—	17.0	34	68
5000	—	21.0	42	84
6300	—	—	52	105
任意200	1.1	1.8	4	7

注：1. 表中数值均按标准温度20℃给定。

2. 距工作面边缘0.01L（最大为10mm）范围内的直线度公差不计，且任意一点都不得高于工作面。

③ Ⅰ、Ⅱ字形平尺上工作面与下工作面的平行度公差、桥形平尺工作面与支承脚支承面的平行度公差、平尺侧面对工作面的垂直度公差（表9-5）。

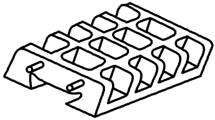
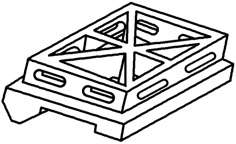
表9-5 铸铁平尺工作面平行度、垂直度公差

规格尺寸/mm	精度等级							
	00	0	1	2	00	0	1	2
	上工作面与下工作面（或支承面）的平行度公差/μm				侧面对工作面的垂直度公差/μm			
400	2.4	3.9	8	—	8.0	13.0	25	—
500	2.7	4.5	9	—	9.0	15.0	30	—
630	3.2	5.3	11	—	10.5	18.0	35	—
800	3.8	6.3	12	—	12.5	21.0	40	—
1000	4.5	7.5	15	30	15.0	25.0	50	100
1250	5.4	9.0	18	36	18.0	30.0	60	120
1600	6.6	11.1	23	45	22.0	37.0	75	150
2000	8.1	13.5	27	54	27.0	45.0	90	180
2500	9.9	16.5	33	66	33.0	55.0	110	220
3000	11.7	19.5	39	78	39.0	65.0	130	260
4000	—	25.5	51	102	—	85.0	170	340
5000	—	31.5	63	126	—	105.0	210	420
6300	—	—	78	158	—	—	260	525

注：平行度公差值为表9-4中直线度公差值的1.5倍；垂直度公差值为表9-4中直线度公差值的5倍。

2）专用刮削工具（表 9-6）。

表 9-6 专用刮削工具

名称	简　　图	用　　途
燕尾平板		用于检验凸燕尾导轨
组合平板		用于检验由一个平面和一个 V 形面组合的导轨

（2）刮刀

1）刮刀的种类及用途。根据刮削面形状的不同，刮刀可分为平面刮刀和曲面刮刀两大类。

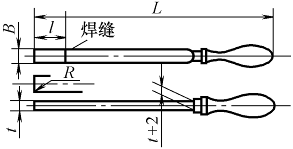
① 平面刮刀主要用来刮削平面，如平板、平面导轨、工作台等，也可用来刮削外曲面。按所刮削表面精度要求的不同，可分为粗刮刀、细刮刀和精刮刀三种。

平面刮刀的种类及用途见表 9-7。

② 曲面刮刀主要用来刮削内曲面，如滑动轴承内孔等。常用曲面刮刀的种类及用途见表 9-8。

表 9-7　平面刮刀的种类及用途　　（单位：mm）

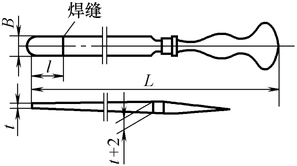
（1）普通手推平面刮刀



种类 \ 尺寸	L	l	B	t	R	用　途
精刮刀	450 ~ 600	150	25 ~ 30	4 ~ 4.5	120	粗刮
细刮刀	350 ~ 450	100	25	3 ~ 3.5	60	细刮
粗刮刀	300 ~ 350	75	20	2.5 ~ 3	50	精刮或刮花
小刮刀	200 ~ 300	50	15	2.5	40	小工件精刮

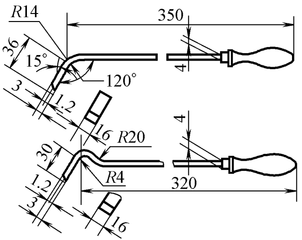
(续)

(2) 挺刮式平面刮刀



尺寸 种类	L	l	B	t	用　途
大型	600 ~ 700	150	25 ~ 30	4 ~ 5	粗刮大平面
小型	450 ~ 600	150	20 ~ 25	3.5 ~ 4	细刮大平面

（续）

（3）拉刮刀	
形状和尺寸	用　　途
	刀体呈曲形，弹性较强，刮削出的工件表面粗糙度低，常用于精刮和刮花，也可拉刮带有台阶的平面

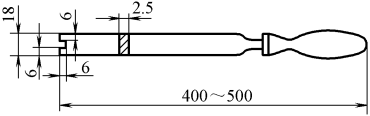
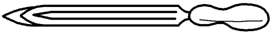
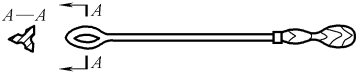
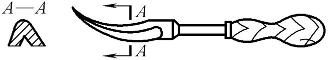
（4）双刃刮花刀	
形状和尺寸	用　　途
	专用于刮削交叉花纹

表 9-8　常用曲面刮刀的种类及用途

种类	图　　示	用　　途
三角刮刀		常用三角锉刀改制，用于刮削各种曲面
蛇头刮刀		刀头部具有三个带圆弧形的切削刃，刀平面磨有凹槽，切削刃圆弧的大小视工件的粗、精刮而定（粗刮刀圆弧的曲率半径大，精刮刀圆弧的曲率半径小）。刮削时不易产生振痕，适用于精刮各种曲面
柳叶刮刀		有两个切削刃，刀尖为精刮部分，后部为强力刮削部分，适用于精刮余量不多的各种曲面

2）刮刀材料和热处理方法。刮刀的材料一般采用碳素工具钢，如T8、T10、T12、T12A钢等，或轴承钢，如由GCr15钢锻制而成。当刮削硬质材料时，也可用硬质合金刀片焊在刀杆上使用。

刮刀采用碳素工具钢或轴承钢时，刮刀粗磨好后的热处理过程由淬火加回火组成。方法是用氧乙炔火焰或在炉火中加热至780～800℃（呈暗橘红色）后，迅速从炉中取出，并垂直地把刮刀放入切削液中冷却（浸入深度，平面刮刀为5～8mm，三角刮刀为整个切削刃，蛇头刮刀为圆弧部分），再将刮刀沿着液面缓慢地移动（图9-1），由此造成液面波动，使淬硬与不淬硬部分不致于有明显的界限，避免了刮刀在淬硬与不淬硬的界限处断裂。待冷却到刮刀露出部分呈黑色时，由切削液中取出，这时利用刮刀上部的余热进行回火。当刮刀浸入切削液部分的颜色呈白色后，再迅速将刮刀全部浸入切削液中，至完全冷却后再取出。

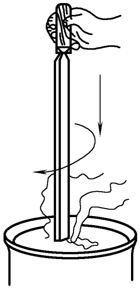


图9-1　刮刀淬火

切削液有三种：其一是水，一般用于平面粗刮刀及刮削铸铁或钢时曲面刮刀的淬火，淬硬程度一般低于60HRC；其二是含有体积分数为15%的盐溶液，用于刮削较硬金属时平面刮刀的淬火，淬硬程度一般大于60HRC；其三是油，一般用于曲面刮刀及平面精刮刀的淬火，淬硬程度在60HRC左右。

3）刮刀刃磨方法。

① 平面刮刀的刃磨。平面刮刀的刃磨分三个阶段进行，即粗磨、细磨和精磨。

a. 粗磨。粗磨在砂轮上进行，先使刀头基本成形，然后进行热处理。

b. 细磨。刮刀淬火后进行细磨，先磨刮刀两个平面（图9-2a）即先将两个平面分别在砂轮的侧面磨平，要求达到平整，厚薄均匀，再将头部长度约30～60mm左右的平面磨到厚度为1.5～4mm（一般刮刀切削部分的厚度）。然后磨出刮刀两侧窄面。最后将刮刀的顶端面在砂轮的外圆弧面上（图9-2b）左右平稳移动，刃磨到顶端面与刀身中心线垂直即可。

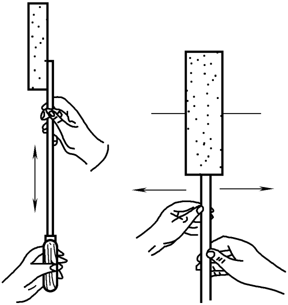
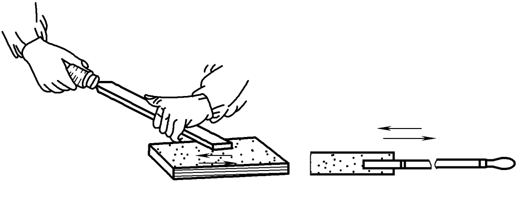


图9-2 平面刮刀的细磨
a）磨平面 b）磨顶端面

c. 精磨。经细磨后的刮刀，切削刃还不能符合平整和锋利的要求，必须在油石上进行精磨。精磨时，应在油石表面滴上适量润滑油，先磨两个平面，再磨端面。

在磨两个平面时（图9-3a），使刀头的平面平贴在油石上来回移动，一面磨好后再磨另一面。刮刀两平面经过反复刃磨，直到平面光洁平整为止。图9-3b所示

的磨法是错误的，这种磨法会使平面磨成弧面，刃口不锋利。



a)　　　　　　b)

图 9-3　刮刀平面的精磨

a）正确　b）错误

刃磨刮刀顶端面（图 9-4）。磨时右手握住靠近刀头部分，而左手扶住刀柄，使刮刀直立在油石上，略带前倾作来回移动。当右手向前推时，刮刀稍微向前倾斜，使刀端前半面在油石上磨动；向后拉回时，应略提起刀身，以免磨损刃口。当前半面磨好后，把刮刀翻转 180°，再用同样的方法磨刮刀的另半面，这样反复刃磨，直到符合精度要求为止。

图 9-5 所示为刃磨刮刀顶端面的另一种方法。用两手握住刀身，并将刮刀上部靠在操作者的肩前部呈一定角度，然后两手施加压力，将刮刀向后拉动，刃磨刀端的一个半面。当刮刀向前移动时，应将刮刀提起，以免损伤刃口。此半面磨好后，将刮刀翻转 180°，再用同样的方法刃磨另一半面，直至符合精度要求为止。这种方法容易掌握，但刃磨速度较慢。

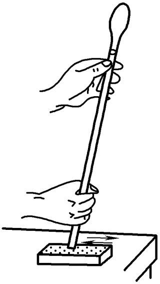


图 9-4　刃磨刮刀顶端面的方法（一）

图 9-5　刃磨刮刀顶端面的方法（二）

刃磨刮刀顶端面时，应按粗刮刀、细刮刀和精刮刀的不同，磨出不同的楔角 β（图 9-6）。

粗刮刀 β 为 90°～92.5°，切削刃必须平直。

细刮刀 β 为 95°左右，切削刃稍带圆弧。

精刮刀 β 为 97.5°左右，切削刃呈圆弧形，而圆弧半径要小于细刮刀。

② 曲面刮刀。曲面刮刀的刃磨方法如下：

a. 三角刮刀的刃磨。一般先将锻好的毛坯在砂轮上粗磨（图 9-7），右手握住三角刮刀刀柄，左手将刮刀的刃口以水平位置轻压在砂轮的外圆弧面上，按切削刃弧形来回摆动。一面刃磨完毕后，再以同样的方法刃磨其他两面，使三个面的交线形成弧形的切削刃。接着如图 9-8 所示，将三角刮刀的三个圆弧面在砂轮角上开槽。

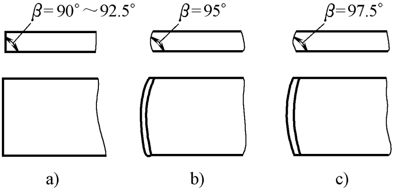


图 9-6　刮刀头部形状和角度

a）粗刮刀　b）细刮刀　c）精刮刀

磨削时刮刀应上下、左右移动，刀槽要开在两刃中间，切削刃边上只留 2～3mm 的棱边。

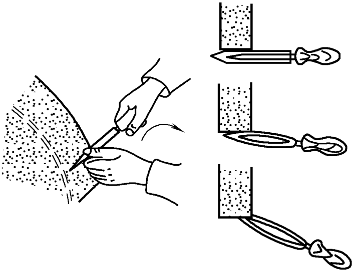


图 9-7　粗磨三角刮刀三个弧面

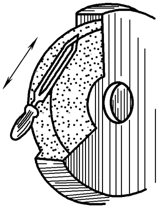


图 9-8　三角刮刀的开槽

三角刮刀淬火后，必须在油石上进行精磨。如图 9-9 所示，刃磨时右手握住刮刀的刀柄，左手压在切削刃上，将刮刀的两个切削刃同时放在油石上，由于中间有槽，因此两切削刃边上只有窄的棱边被磨着。使切削刃沿着油石长度方向来回移动，在切削刃来回移动的同

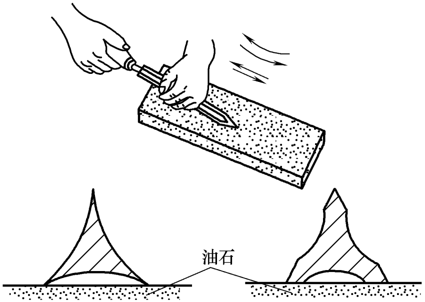


图 9-9　三角刮刀的精磨

时，还要按切削刃的弧形作上下摆动，直到切削刃锋利为止。

b. 蛇头刮刀两平面的粗磨和精磨方法均与平面刮刀相似，刀头的刃磨及开槽方法与三角刮刀相似。

（3）刮削用显示剂的种类及应用（表 9-9）

在使用显示剂时，关键是显示剂的调和及涂布。显示剂的调和稀稠要适当。粗刮时显示剂应当调稀些，这样不仅便于涂布，而且显示出的研点也大。一般应将显示剂涂在标准平板的表面上，这样在刮削过程中，切屑不易粘附在刮刀刃口上，刮削比较方便。精刮时显示剂可调稠些，涂布时应薄而均匀，一般应将显示剂涂布在工件表面，这样工件表面显示出的研点呈红底黑点，不反光，容易看清，便于提高刮削精度。

3. 刮削余量

（1）平面刮削余量（表 9-10）。

表 9-9　刮削用显示剂的种类及应用

种类	成　　分	特　　点	应用范围
红丹	一氧化铅再度氧化制成,俗称铅丹。配方为: 红丹: N32G 液压油: 煤油≈100: 7: 3	呈橘黄色,粒度细,研点真实,无腐蚀作用。但研点后颜色较淡,对眼睛有反光刺激,虽有铅毒现象产生,但对人体无较大伤害	应用于铸钢件及部分非铁金属的刮削,是金属切削机床机械加工结合面接触检验及评定和锥孔接触精度评定的显示剂
	氧化铁红(配方同上)	呈红褐色,粒度较粗,研点清楚,对眼睛无反光作用	可用于铸钢件及部分非铁金属的刮削,但不能作为接触精度评定的显示剂
普鲁士蓝油	普鲁士蓝粉混和适量全损耗系统用油与蓖麻油	呈深蓝色,研点小而清楚,刮点显示真实,当室内温度较低时不易涂刷	用于精密零件,特别适用于非铁金属的刮削和检验

（续）

种类	成　　分	特　　点	应用范围
印红油	碱性品红溶解在乙醇中，再加入甘油配制而成	呈鲜红色，对眼睛略有反光刺激，取材方便	用于锥孔接触及刮削面的接触判别，但不作为评定用显示剂
烟墨油	烟墨与全损耗系统用油混合	点成黑色，研点小而清楚	用于表面呈银白色金属的刮削和检验，较少采用
松节油或酒精	松节油或酒精	研点发光亮，特别精细真实，对零件有腐蚀作用，对眼睛有反光刺激	用于精密零件的刮削与检验，较少采用

表 9-10　平面刮削余量　（单位：mm）

零件宽度	零件长度				
	100 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 4000	4000 ~ 6000
≤100	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
100 ~ 500	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
500 ~ 1000	0.25	0.25	0.35	0.45	0.50

（2）内孔刮削余量（表 9-11）。

表 9-11　内孔刮削余量

（单位：mm）

内孔直径	内孔长度		
	≤100	>100~200	>200~300
≤80	0.04~0.06	0.06~0.09	0.09~0.12
80~120	0.07~0.10	0.10~0.13	0.13~0.16
120~180	0.10~0.13	0.13~0.16	0.16~0.19
180~260	0.13~0.16	0.16~0.19	0.19~0.22
260~360	0.16~0.19	0.19~0.22	0.22~0.25

4. 刮削精度要求

刮削面的精度常用 25mm×25mm 内的研点数目表示。

（1）平面刮点要求（表 9-12）

（2）滑动轴承刮点要求（表 9-13）

（3）金属切削机床刮点要求（表 9-14）

表 9-12　平面刮点要求

表面类型	每 25mm×25mm 内的点数	刮削前工件表面粗糙度 Ra/μm	应用举例
超精密面	>25	3.2	0 级平板，精密量仪
精密面	20~25	3.2	1 级平板，精密量具
	16~20	6.3	精密机床导轨，精密滑动轴承

（续）

表面类型	每25mm×25mm内的点数	刮削前工件表面粗糙度 Ra/μm	应用举例
一般	12～16	6.3	机床导轨及导向面，工具基准面
	8～12	6.3	一般基准面，机床导向面，密封结合面
	5～8	6.3	一般结合面
	2～5	6.3	较粗糙机件的固定结合面

表9-13　滑动轴承刮点要求

<table>
<tr><th rowspan="4">轴承直径/mm</th><th colspan="3">金属切削机床</th><th colspan="2">锻压设备、通用机械</th><th colspan="2">动力机械、冶金设备</th></tr>
<tr><th colspan="3">机床精度等级</th><th rowspan="2">重要</th><th rowspan="2">一般</th><th rowspan="2">重要</th><th rowspan="2">一般</th></tr>
<tr><th>Ⅲ级和Ⅲ级以上</th><th>Ⅳ级</th><th>Ⅴ级</th></tr>
<tr><th colspan="7">每25mm×25mm的刮点数</th></tr>
<tr><td>≤120</td><td>20</td><td>16</td><td>12</td><td>12</td><td>8</td><td>8</td><td>5</td></tr>
<tr><td>>120</td><td>16</td><td>12</td><td>10</td><td>8</td><td>6</td><td>6</td><td>2</td></tr>
</table>

5. 刮削方法

（1）平面的刮削方法

1）显点方法。显点方法应根据工件的形状和刮削面积的大小而定。工件显点前，被刮削表面一般都存在很小的毛刺，应用研磨平整的大油石，轻轻地在被刮削

表面上清除毛刺后，才能涂上显示剂显点。

表 9-14　金属切削机床刮点要求

机床精度等级	静压、滑、滚导轨		移置导轨		镶条压板滑动面	特别重要结合面
	每条导轨宽度/mm					
	≤250	>250	≤100	>100		
	每 25mm×25mm 的接触点数					
Ⅲ级和Ⅲ级以上	20	16	16	12	12	12
Ⅳ级	16	12	12	10	10	8
Ⅴ级	10	8	8	6	6	6

中小型工件显点时，一般是标准平板固定，工件被刮削面在平板上推研（图 9-10）。此时，施加压力要均匀，运动轨迹一般呈“8”字形或螺旋形，也可直线推拉。工件被刮面小于平板时，研点范围不应超出平板；被刮面等于或大于平板时，允许工件超出平板，超出部分应小于工件长度的 1/3。

大型工件显点时，工件要固定，标准工具在工件被刮面上研点。标准工具超出工件被刮面的长度，应小于标准工具的 1/5。

重量不对称工件显点时，应在工件适当部位以托或压的方式推研（图 9-11）。托或压的力大小要适当、均匀、平稳。

2）平面刮削方式。

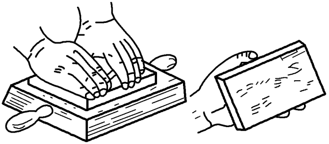


图 9-10　平面的显点方法

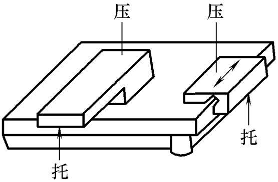
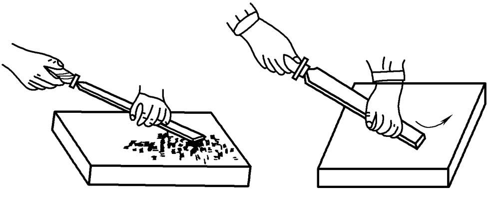


图 9-11　重量不对称工件显点方法

① 手推式。如图9-12所示，右手握刀柄，左手握刀杆，距切削刃约50～70mm处，刮刀与被刮削表面成25°～30°，同时左脚前跨一步，上身向前倾。刮削时，右臂利用上身摆动向前推，左手向下压，并引导刮刀运动的方向。在下压推挤的瞬间迅速抬起刮刀，这样就完成了一次刮削动作。



a)　　b)

图 9-12　手推式刮削

② 挺刮式。如图 9-13 所示，将刮刀柄（圆柄处）顶在小腹下侧，双手握刀杆离刃口约 70～80mm 处，左手在前，右手在后。刮削时，左手下压，落刀要轻，利用腿和臂部力量使刮刀向前推挤，双手引导刮刀前进。在推挤后的瞬间，用双手将刮刀提起，这样就完成了一次刮削动作。

3）平面刮削步骤。平面刮削分粗刮、细刮、精刮和刮花 4 个步骤。

图 9-13　挺刮式刮削

① 粗刮。经机械加工的工件，可先用粗刮刀刮一遍。在整个刮削面上采用连续推铲的方法，使刮出的刀迹连成长片。粗刮时有时会出现平面四周高、中间低的现象，故四周必须多刮几次，而且每刮一遍应转过 30°～45°交叉刮削，直至每 25mm ×25mm 内含 4～6 个研点为止。

② 细刮。细刮的目的是刮去工件表面的大块显点，进一步提高表面质量，细刮刀以宽为 15mm 为宜。刮削时，刀迹长度不超过切削刃的宽度，每刮一遍要变换一个方向，以形成 45°～60°网纹。整个细刮过程中随着研点的增多，刀迹应逐渐缩短，直至每 25mm ×25mm 内含 12～25 个研点为止。

③ 精刮。精刮是在细刮的基础上进行的。精刮时，应充分利用精刮刀刀头较窄、圆弧较小的特点，刀

迹长度一般为 5mm 左右，落刀要轻，起刀后迅速挑起，每个研点上只能刮一刀，不能重复，并始终交叉进行。当研点数增至每 25mm × 25mm 内有 20 个时，应按以下三个步骤刮削，直至达到规定的研点数。

a. 最大、最亮的研点全部刮去。

b. 中等稍浅的研点只将其中较高处刮去。

c. 小而浅的研点不刮。

④ 刮花。刮花的目的是增加工件刮削面的美观以及在滑动件之间创造良好的润滑条件。常见的花纹有斜纹花、月牙花（鱼鳞花）和半月花三种。

a. 斜纹花（图 9-14）。刮削斜花纹时精刮刀与工件边成 45°角刮削，花纹大小视刮削面大小而定。刮削时应在一个方向刮完后，再刮削另一个方向。

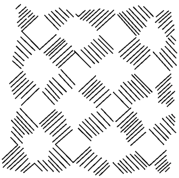


图 9-14　斜纹花

b. 月牙花（图 9-15）。刮削月牙花时先用刮刀的右边（或左边）与工件接触，再用左手把刮刀压平并向前推进，即左手在向下压的同时，还要把刮刀有规律地扭动一下，然后起刀，这样连续地推扭刮削。

c. 半月花（图 9-16）。此法是刮刀与工件成 45°，同刮月牙花一样，先用刮刀的一边与工件接触，再用左手把刮刀压平并向前推进。这时刮刀始终不离开工件，按一个方向连推带扭不断向前推进，连续刮出一串月牙花。然后再按相反方向刮出另一串月牙花。

除上述常见的三种花纹外，其他还有波纹花、燕子花、地毯花、钻石花等。

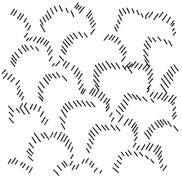


图 9-15　月牙花

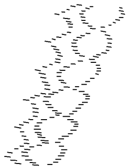


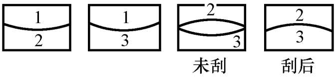
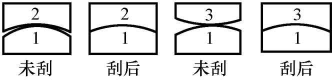
图 9-16　半月花

4）基准平板刮削方法。刮削基准平板（原始平板）采用“三块对研方法”（表 9-15）。

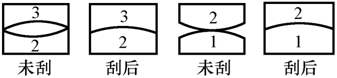
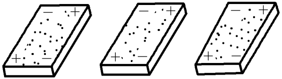
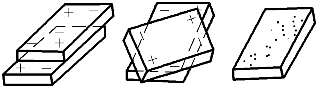
（2）平行面的刮削方法

刮削前，应在被刮削的平面中确定其中一个平面为基准面首先进行粗、细、精刮削，当按规定达到每 25mm × 25mm 研点数的要求之后，就以此面为基准面，再刮削对应的平行面。刮削前用指示表测量该面对基准面的平行度误差（图 9-17），从而确定粗刮时各刮削部位的刮削量，并以标准平板为测量基准，结合显点刮削，以保证平面度要求。在保证平面度和初步达到平行度的情况下，进入细刮。细刮时除了用显点方法来确定刮削部位外，还应结合指示表进行平行度测量，这样再作刮削的修正。达到细刮要求后，进行精刮，直到每 25mm × 25mm 的研点数和平行度都符合要求为止。

表 9-15　原始平板刮研方法

方　　法	简　　图
正研： 先将三块平板单独进行粗刮，除去机械加工的刀痕和锈斑等，然后将三块平板分别标号进行刮研，其过程要经三次循环 一次循环：先设 1 号为基准，与 2 号互研互刮，与 3 号互研，单刮 3 号，使 1 与 2 号、1 与 3 号相贴合	
二次循环：在上一次基础上以 2 号平板为基准，1 号与 2 号平板互研单刮 1 号，3 号与 1 号平板互研互刮	

（续）

方　　法	简　　图
三次循环：在上一次基础上，以 3 号为基准，2 号与 3 号平板互研，单刮 2 号，1 号与 2 号平板互研互刮（然后重复循环，直至达到规定的要求）	
对角研： 在正研过程中，三块平板还应转换方向（45°）互研，以免在平板对角部位产生扭曲现象 经互研发现有扭曲，应根据研点修刮，直至研点分布均匀和消除扭曲，使三块平板相互之间，无论是直研、调头研，还是对角研，研点情况都完全相同为止	 平面扭曲情况  对角研点检查

(3) 垂直面的刮削方法

垂直面的刮削方法与平行面的刮削相似，刮削前先确定一个平面为基准面，并在进行粗、细、精刮削后作为基准面，然后对垂直面进行测量（图 9-18），以确定粗刮的刮削部位和刮削量，并结合显点刮削，以保证达到平面度要求。细刮和精刮时，除按研点进行刮削外，还要不断地进行垂直度测量，直到被刮面每 25mm × 25mm 的研点数和垂直度都符合要求为止。

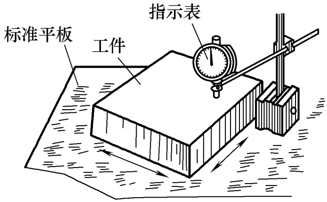


图 9-17　用指示表测量平行度

(4) 曲面的刮削方法

曲面刮削一般是指内曲面刮削。其刮削原理与平面刮削一样，但刮削方法及所用的工具不同。内曲面刮削常用三角刮刀或蛇头刮刀。刮削时，刮刀应在曲面内作后拉或前推的螺旋运动。

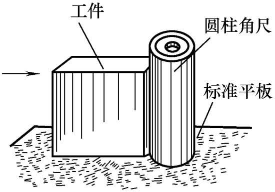


图 9-18　垂直度的测量方法

内曲面刮削一般以校准轴（又称工艺轴）或相配合的工作轴作为内圆面研点的校准工具。校准时将显示剂涂布在轴的圆周面上，使轴在内曲面上来回旋转显示出研点（图9-19），然后根据研点进行刮削。刮削时应注意以下几点：

1）刮削时用力不可太大，否则容易发生抖动，表面产生振痕。

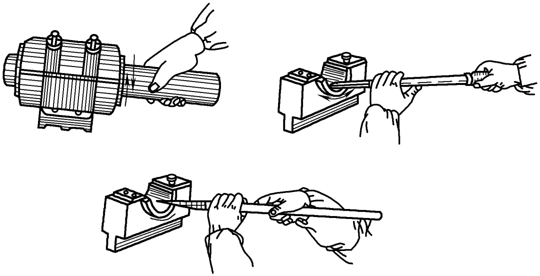


图9-19　内曲面的显点和刮削

2）研点时配合轴应沿内曲面作来回旋转，精刮时转动弧长应小于25mm。切忌沿轴线方向作直线研点。

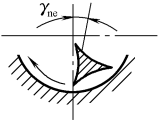
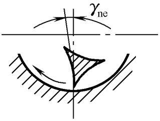
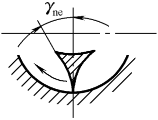
3）每刮一遍之后，下一遍刮削应交叉进行，因为交叉刮削可避免刮削面产生波纹，研点也不会成条状。

4）一般情况下由于孔的前、后端磨损快，因此刮削内孔时，前、后端的研点要多些，中间段的研点可以

少些。

5）曲面刮削的切削角度和用力方向见表 9-16。

表 9-16　曲面刮削的切削角度及用力方向

刮削类别	应用说明	
粗刮		刮刀呈正前角，刮出的切屑较厚，故能获得较高的刮削效率
细刮		刮刀具有较小的负前角，刮出的切屑较薄，能很好地刮去研点，并能较快地把各处集中的研点改变成均匀分布的研点
精刮		刮刀具有较大的负前角，刮出的切屑极薄，不会产生凹痕，故能获得较低的表面粗糙度

6. 刮削面的质量分析（表 9-17）

表 9-17　刮削面的质量分析

缺陷形式	特　征	产生原因
深凹痕	刮削面研点局部稀少或刀迹与显示研点高低相差太多	1）粗刮时用力不均、局部落刀太重或多次刀迹重叠 2）切削刃磨得弧度过大
撕痕	刮削面上有粗糙的条状刮痕，较正常刀迹深	1）切削刃不光滑和不锋利 2）切削刃有缺口或裂纹
振痕	刮削面上出现规则的波纹	多次同向刮削，刀迹没有交叉
划道	刮削面上划出深浅不一的直线	研点时夹有砂粒、铁屑等杂质，或显示剂不清洁
刮削面精度不准确	显点情况无规律改变	1）推磨研点时压力不均，研具伸出工件太多，按出现的假点刮削造成 2）研具本身不准确

二、研磨

用研磨工具和研磨剂，通过研具与工件在一定压力下作相对滑动，从工件表面上磨掉一层极薄的金属，以提高工件尺寸、形状精度和降低表面粗糙度的精整加工方法称研磨。

研磨精度可达 0.025μm，球体圆度误差可达 0.025μm，圆柱度误差可达 0.1μm，表面粗糙度可达 *Ra*0.01μm，并能使两个平面达到精密配合。

研磨主要用于精密零件，如量规、精密配合件、光学零件等。

研磨的特点及作用有以下几点：

1）研磨可以获得其他方法难以达到的高尺寸精度和形状精度。

2）磨粒在工件表面不重复先前的运动轨迹，易于切削掉加工表面凸峰，容易获得极小的表面粗糙度值。

3）经研磨的零件能提高加工表面的耐磨性、耐蚀性及疲劳强度，从而延长了零件的使用寿命。

4）加工方法简单，不需要复杂的设备，但加工效率较低。

1. 研磨的分类及适用范围（表 9-18）

2. 研磨剂

研磨剂是由磨料和研磨液调和而成的混合剂。

（1）常用磨料及适用范围

研磨磨料按硬度可分为硬磨料和软磨料两类。常用

表 9-18　研磨的分类及适用范围

分类	适用范围
湿研磨	又称敷砂研磨。将稀糊状或液状研磨剂涂敷或连续注入研具表面，磨粒在工件与研具之间不停地滑动或滚动，形成对工件的切削运动，加工表面呈无光泽的麻点状。一般用于粗研磨
干研磨	又称嵌砂研磨或压砂研磨。在一定的压力下，将磨料均匀地压嵌在研具的表层，研磨时只需在研具表面涂以少量的润滑剂即可。干研磨可获得很高的加工精度和低的表面粗糙度，但研磨效率较低，一般用于精研磨
半干研磨	采用糊状的研磨膏作研磨剂，其研磨性能介于湿研磨与干研磨之间，用于粗研磨和精研磨均可

的磨料见表 9-19。

（2）磨料粒度的选择（表 9-20）。

（3）研磨液

研磨液主要起润滑冷却作用，并使磨粒均布在研具表面。常用研磨液见表 9-21。

表 9-19 常用磨料的系列与用途

系列	磨料名称	代号	特　　性	适用范围
刚玉	棕刚玉	A	棕褐色。硬度高，韧性大，价格便宜	粗、精研磨钢、铸铁、黄铜
	白刚玉	WA	白色。硬度比棕刚玉高，韧性比棕刚玉差	精研磨淬火钢、高速钢、高碳钢及薄壁零件
	铬刚玉	PA	玫瑰红或紫红色。韧性比白刚玉高，磨削表面质量好	研磨量具、仪表零件及高精度表面
	单晶刚玉	SA	淡黄色或白色。硬度和韧性比白刚玉高	研磨不锈钢、高钒高速钢等强度高、韧性大的材料
碳化物	黑碳化硅	C	黑色有光泽。硬度比白刚玉高，性脆而锋利，导热性和导电性良好	研磨铸铁、黄铜、铝、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色。硬度和脆性比黑碳化硅高，具有良好的导热性和导电性	研磨硬质合金、硬铬、宝石、陶瓷、玻璃等材料
	碳化硼	BC	灰黑色。硬度仅次于金刚石，耐磨性好	精研磨和抛光硬质合金、人造宝石等硬质材料

（续）

系列	磨料名称	代号	特　　性	适用范围
金刚石	人造金刚石	JR	无色透明或淡黄色、黄绿色或黑色。硬度高，比天然金刚石略脆，表面粗糙	粗、精研磨硬质合金、人造宝石、半导体等高硬度脆性材料
	天然金刚石	JT	硬度最高，价格昂贵	
软磨料	氧化铁		红色至暗红色。比氧化铬软	精研磨或抛光钢、铁、玻璃等材料
	氧化铬		深绿色	

表 9-20　磨料粒度的选择

微粉粒度	适用范围			能达到的表面粗糙度 *Ra*/μm
	连续施加磨粒	嵌砂研磨	涂敷研磨	
F400	✓		✓	0.32～0.63
F600	✓		✓	0.16～0.32
	✓		✓	
F1000			✓	0.08～0.16
		✓	✓	
F1200		✓	✓	0.04～0.08

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">微粉粒度</th><th colspan="3">适用范围</th><th rowspan="2">能达到的表面粗糙度 Ra/μm</th></tr>
<tr><th>连续施加磨粒</th><th>嵌砂研磨</th><th>涂敷研磨</th></tr>
<tr><td rowspan="5">F1200 以下</td><td></td><td>✓</td><td>✓</td><td rowspan="2">0.02～0.04</td></tr>
<tr><td></td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td></td><td>✓</td><td>✓</td><td rowspan="2">0.01～0.02</td></tr>
<tr><td></td><td>✓</td><td>✓</td></tr>
<tr><td></td><td>✓</td><td>✓</td><td><0.01</td></tr>
</table>

注：✓表示可选用。

表 9-21　常用研磨液

<table>
<tr><th colspan="2">工件材料</th><th>研　磨　液</th></tr>
<tr><td rowspan="2">钢</td><td>粗研</td><td>煤油 3 份，L-AN10 全损耗系统用油 1 份，透平油或锭子油少量，轻质矿物油适量</td></tr>
<tr><td>精研</td><td>L-AN10 号全损耗系统用油</td></tr>
<tr><td colspan="2">铸铁</td><td>煤油</td></tr>
<tr><td colspan="2">铜</td><td>动物油（熟猪油与磨料拌成糊状，后加 30 倍煤油），锭子油（少量），植物油（适量）</td></tr>
<tr><td colspan="2">淬火钢、不锈钢</td><td>植物油、透平油或乳化液</td></tr>
</table>

（续）

工件材料	研　磨　液
硬质合金	航空汽油
金刚石	橄榄油、圆度仪油或蒸馏水
金、银、白金	酒精或氨水
玻璃、水晶	水

（4）研磨剂配制

研磨剂主要有液态研磨剂和研磨膏两种。

1）液态研磨剂。湿研时用煤油、混合脂和微粉配制。常用配方见表9-22。

表9-22　常用液态研磨剂

配　方	调　法	用　途
金刚砂　2～3g 硬脂酸　2～2.5g 航空汽油 80～100g 煤油数滴	先将硬脂酸和航空汽油在清洁的瓶中混合，然后放入金刚砂摇晃至乳白状而金刚砂不易沉下为止，最后滴入煤油	研磨各种硬质合金刀具
白刚玉（F1000）16g 硬脂酸　8g 蜂蜡　1g 航空汽油　80g 煤油　95g	先将硬脂酸与蜂蜡溶解，冷却后加入航空汽油搅拌，然后用双层纱布过滤，最后加入磨料和煤油	精研磨高速钢刀具及一般钢材

干研时压砂用研磨剂配方见表 9-23。

表 9-23　干研时压砂用研磨剂配方

序号	成　分	备　注
1	白刚玉（F1200 以下）15g 硬脂酸混合脂 8g 航空汽油 200mL 煤油 35mL	使用时不加任何辅料
2	白刚玉（F1200 以下）25g 硬脂酸混合脂 0. 5g 航空汽油 200mL	使用时，平板表面涂以少量硬脂酸混合脂，并加数滴煤油
3	白刚玉 50g 硬脂酸混合脂 4 ~5g 航空汽油及煤油配成 500mL	航空汽油与煤油的比例取决于磨料的粒度： F1200 汽油 9 份 煤油 1 份 F1200 以下汽油 7 份 煤油 3 份
4	白刚玉(F1000 ~F1200) 适量 煤油 6 ~20 滴 氧化铬研磨膏 适量	使用时，将其调成稀糊状即可

2）研磨膏。常用研磨膏有刚玉类研磨膏，主要用于钢铁件研磨；碳化硅、碳化硼类研磨膏，主要用于硬质合金、玻璃、陶瓷和半导体等材料的研磨；氧化铬类研磨膏，主要用于精细抛光或非金属材料的研磨；金刚石类研磨膏，主要用于硬质合金等高硬度材料的研磨。常用研磨膏见表 9-24 ~ 表 9-26。

表 9-24　刚玉研磨膏的成分及用途

粒度号	成分及比例（质量分数,%）				用　途
	微粉	混合脂	油酸	其他	
F600	52	26	20	硫化油 2 或煤油少许	粗研
F800	46	28	26	煤油少许	半精研及研狭长表面
F1000	42	30	28	煤油少许	半精研
F1200	41	31	28	煤油少许	精研及研端面
F1200 以下	40	32	28	煤油少许	精研
F1200 以下	40	26	26	凡士林 8	精细研
F1200 以下	25	35	30	凡士林 10	精细研及抛光

表 9-25　碳化硅、碳化硼研磨膏的成分及用途

研磨膏名称	成分及比例（质量分数,%）	用　途
碳化硅	碳化硅（F240～F320）83、凡士林 17	粗研
碳化硼	碳化硼（F600）65、石蜡 35	半精研
混合研磨膏	碳化硼（F600）35、白刚玉（F600～F1000）与混合脂各 15、油酸 35	半精研
碳化硼	碳化硼（F1200 以下）76、石蜡 12、羊油 10、松节油 2	精细研

表 9-26　人造金刚石研磨膏

规格	颜色	加工表面粗糙度 Ra/μm	规格	颜色	加工表面粗糙度 Ra/μm
F800	青莲	0.16～0.32	F1200 以下	橘红	0.02～0.04
F1000	蓝	0.08～0.32	F1200 以下	天蓝	0.01～0.02
F1200	玫红	0.08～0.16	F1200 以下	棕	0.008～0.012
F1200 以下	橘黄	0.04～0.08	F1200 以下	中蓝	≤0.01
F1200 以下	草绿	0.04～0.08			

3. 研具

研具是用于涂敷或嵌入磨料并使其磨粒发挥切削作用的工具。研具材料的硬度一般应比工件材料的硬度低，而且硬度一致性好，组织均匀，无杂质、异物、裂纹和缺陷。其结构要合理，并具有较高的几何精度，耐磨性好，散热性好。

（1）研具材料

1）常用研具材料的性能及适用范围见表 9-27。

2）常用干研嵌砂平板材料成分见表 9-28。

（2）通用研具

1）平面研具的类型、特点及适用范围见表 9-29。

2）外圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表 9-30。

3）内圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表 9-31。

表 9-27　常用研具材料的性能及适用范围

材料	性能与要求	用　　途
灰铸铁	120～160HBW，金相组织以铁素体为主，可适当增加珠光体比例，用石墨球化及磷共晶等办法提高使用性能	用于湿式研磨平板
高磷铸铁	160～200HBW，以均匀细小的珠光体（体积分数为70%～85%）为基体，可提高平板的使用性能	用于干式研磨平板及嵌砂平板
10、20低碳钢	强度较高	用于铸铁研具强度不足时，如M5以下螺纹孔，以及 $d<8$mm 小孔及窄槽等的研磨
黄铜、纯铜	磨粒易嵌入，研磨工效高，但强度低，不能承受过大的压力，耐磨性差，加工表面粗糙度高	用于余量大的工件的粗研及青铜件和小孔的研磨
木材	要求木质紧密、细致、纹理平直、无节疤、虫伤	用于研磨铜或其他软金属
沥青	磨粒易嵌入，不能承受大的压力	用于玻璃、水晶、电子元件等的精研与镜面研磨

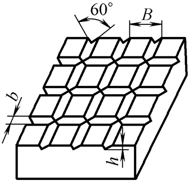
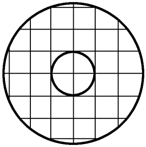
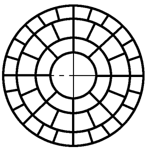
（续）

材料	性能与要求	用　　途
玻璃	脆性大，一般要求 10mm 厚度，并经 450°C 退火处理	用于精研，并配用氧化铬研磨膏，可获得良好的研磨效果

表 9-28　常用干研嵌砂平板材料成分

嵌砂粒度	干研平板成分（质量分数,%）								金相组织及硬度
	C	Si	Mn	P	S	Sb	Ti	Cu	
F1200以下	3.2	2.14	0.74	0.2	0.1	0.045	—	—	粗片状珠光体体积分数为70%，游离碳呈 A 型 4～5 级，硬度为 156HBW
	2.88	1.58	0.84	0.95	0.05	—	0.15	0.78	薄片状及细片状珠光体体积分数约为 85%，二元磷共晶网状分布，游离碳呈 A 型 4～5 级，硬度为 192HBW

表 9-29　平面研具的类型、特点及适用范围

类型	简　图	结构特点	适用范围
研磨平板		多制成正方形和长方形，常用于手工研磨，有开槽与不开槽两种。开槽的目的是用于刮去多余的研磨剂，使零件获得高的平面度。常开 60° V 形槽，宽 *b* 和深 *h* 为 1 ~ 5mm，槽距 *B* 为 15 ~ 20mm	用于研磨平面
直角交叉形圆盘		研磨圆盘也有开槽和不开槽两种。研磨圆盘多开螺旋槽，方向是使研磨液能向内侧循环移动，与离心力作用相抵消。如采用研磨膏研磨时，选用阿基米德螺旋线槽较好	研磨各种平面零件，主要用于小型零件
圆环射线形圆盘			

（续）

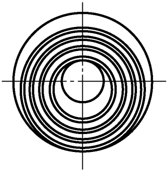
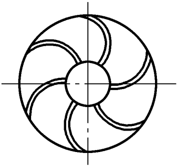
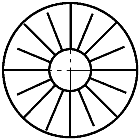
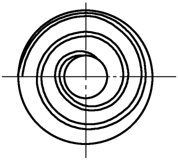
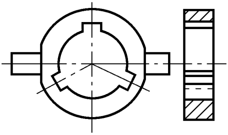
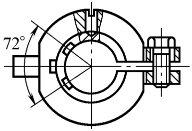
类型	简　图	结构特点	适用范围
偏心圆环形圆盘		采用开槽圆盘研磨，工件表面粗糙度升高，因此，若要求工件表面粗糙度较低时，应选用不开槽的圆盘研磨	研磨各种平面零件，主要用于小型零件
螺旋射线形圆盘			
径向射线形圆盘			
阿基米德螺旋线形圆盘			

表 9-30　外圆柱面研具的类型、特点及适用范围

类型	简　图	结构特点	适用范围
整体式研具		整体式外圆柱面研具是一个空心整体不开口的研磨套，有均布的三个槽	用于研磨小直径外圆柱面
带研磨套开口式研具	 无槽式	研磨较大直径时，孔内加研磨套，其内径比工件外径大 0.02 ~ 0.04mm，套的长度为加工表面长度的 1/4 ~ 1/2。研磨套内圆不开槽	用于研磨较大直径的外圆柱面

（续）

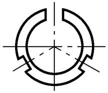
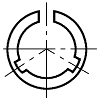
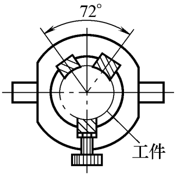
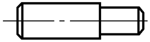
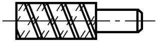
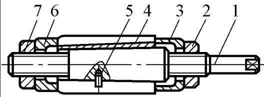
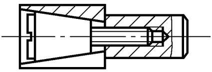
类型	简　图	结构特点	适用范围
带研磨套开口式研具	 研磨套的外表面开槽	研磨套制成开口式，便于调节尺寸。除开口外，还开两个槽，使研磨套具有一定的弹性	用于研磨一般直径的外圆柱面
	 研磨套的内表面开槽	开口式研磨套，在研磨大型工件时，可在套的内表面开槽，以增加弹性	用于研磨大型外圆柱面
三点式研具	 	三点式研具是在整体研具架的内径上开有三个槽（如图所示角度），其中拧入调节螺栓的一槽较深。在三个槽内均镶嵌一研磨块，把三块车成研磨直径尺寸	用于研磨高精度外圆柱面

表 9-31　内圆柱面研具的类型、特点及适用范围

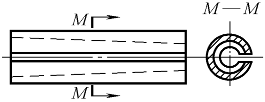
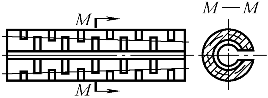
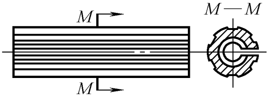
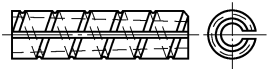
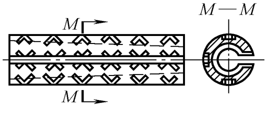
类型	简　图	结构特点	适用范围
整体式研具	 不开槽式	不开槽式整体研棒，是实心整体圆柱体，刚性好，研磨精度高	用于精研较小孔（直径＜8mm）内圆柱面
	 开槽式	开槽式整体研棒，是在实心圆柱体外圆表面上开直槽、螺旋槽或交叉槽。螺旋槽研棒的研磨效率高，但研孔表面粗糙度高，圆度较差；交叉螺旋槽或十字交叉槽研棒的加工质量好。水平研磨开直槽较好，垂直研磨开螺旋槽较好	用于粗研较小孔（直径＜8mm）内圆柱面

（续）

类型	简　图	结构特点	适用范围
可调式研具	 1—心棒　2、7—螺母 3、6—套　4—研磨套 5—销	心棒与研磨套的配合锥度为1∶20～1∶50。锥套外径比工件小0.01～0.02mm，大端壁厚为被研孔径的0.125～0.8，研具长度为被研表面长度的0.7～1.5，其结构有开槽或不开槽两种	开槽式研磨棒适用于粗研，不开槽式研磨棒适用于精研
不通孔式研具		利用螺纹，通过锥度使外径胀大。研棒工作部分的长度必须大于被研磨孔长度的20～30mm，锥度为1∶50～1∶20。研磨不通孔时，由于磨料不易均布，可在外径上开螺旋槽，或在轴向做成反锥	适用于研磨不通孔的内圆柱面

4）内圆柱面研棒的沟槽形式见表 9-32。

表 9-32　内圆柱面研棒的沟槽形式

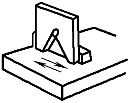
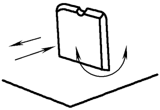
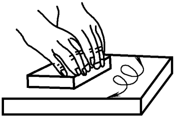
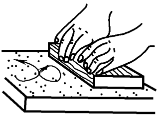
形　　式	简　　图
单　槽	
圆周短槽	
轴向直槽	
螺旋槽	
交叉螺旋槽	
十字交叉槽	

4. 研磨方法

(1) 常用研磨运动轨迹

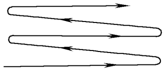
1) 手工研磨运动轨迹形式见表 9-33。

表 9-33　手工研磨运动轨迹形式

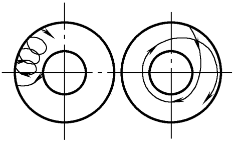
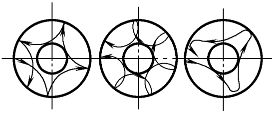
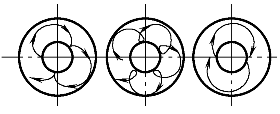
轨迹形式	简　　图	适用范围
直线往复式		常用于研磨有台阶的狭长平面，如平面样板、角尺的测量面等。能获得较高的几何精度
摆动直线式		用于研磨某些圆弧面，如样板角尺、双斜面直尺的圆弧测量面
螺旋式		用于研磨圆片或圆柱形工件的端面，能获得较好的表面粗糙度和平面度
8 字形或仿 8 字形式		常用于研磨小平面工件，如量规的测量面等

2）机械研磨运动轨迹形式见表9-34。

表 9-34　机械研磨运动轨迹形式

轨迹形式	轨迹图形	特点及适用范围
直线往复式		工件在平板上作平面平行运动，其研磨速度一致，研磨量均匀，运动较平稳，研磨行程的同一性较好。但研磨轨迹容易重复，平板磨损不一致。适用于加工底面狭长而高的工件
正弦曲线式		工件始终保持平面平行运动，主要也是成形研磨。由于轨迹交错频繁，研磨表面粗糙度比直线往复式有明显降低

（续）

轨迹形式	轨迹图形	特点及适用范围
周摆线式		工件运动能走遍整个板面，结构简单，加工表面粗糙度低。但因工件前导边始终不变换，且工件各点的行程不一致性较大，不易保持研磨盘的平面度。适于加工扁平工件及圆柱工件的端面
内摆线式		内、外摆线适于研磨圆柱形工件端面及底面为正方形或矩形长宽比小于2∶1 的扁平工件。这种运动尺寸一致性好，平板磨损较均匀，故研磨质量好，且效率较高，适用于大批生产
外摆线式		

（2）研具的压砂

研磨前研具可按表 9-35 所述的工序步骤进行压砂。

表 9-35　研具压砂工序

序号	工序名称	说　明
1	涂硬脂酸	用煤油清洗擦净研具，涂抹一层硬脂酸
2	倒砂，抹匀及晾干	将浸泡好的液态研磨剂摇晃均匀，并倒在研具表面，抹匀、晾干
3	滴加液态润滑剂	滴加适量煤油，把晾干的研磨粉调匀呈粘糊状，然后将另一块研具合上，开始嵌压砂
4	嵌压砂	按“8”字形运动推研研具，并经常调转上研具的方向，一般需 3 ~5 遍，才能使磨粒均匀嵌入并有一定深度
5	擦净	取下上研具，用脱脂棉擦净研具表面
6	试块检查	用与被研工件材料相同的试块，在研具表面直线往复推研几下。当试块推研时切削速度很快，且表面研磨条纹细密均匀，则说明研具表面嵌砂多而均匀，即可正式使用

（3）研磨工艺参数的选择

1）研磨余量的选择见表9-36～表9-38。

表9-36　平面研磨余量

（单位：mm）

平面长度	平面宽度		
	≤25	26～75	76～150
≤25	0.005～0.007	0.007～0.010	0.010～0.014
26～75	0.007～0.010	0.010～0.016	0.016～0.020
76～150	0.010～0.014	0.016～0.020	0.020～0.024
151～250	0.014～0.018	0.020～0.024	0.024～0.030

注：经过精磨的工件，手工研磨余量每面为3～5μm，机械研磨余量每面为5～10μm。

表9-37　外圆研磨余量

（单位：mm）

直　径	余　量	直　径	余　量
≤10	0.005～0.008	51～80	0.008～0.012
11～18	0.006～0.008	81～120	0.010～0.014
19～30	0.007～0.010	121～180	0.012～0.016
31～50	0.008～0.010	181～260	0.015～0.020

注：经过精磨的工件，手工研磨余量为3～8μm，机械研磨余量为8～15μm。

表 9-38　内孔研磨余量　（单位：mm）

孔　径	铸　铁	钢
25 ~ 125	0. 020 ~ 0. 100	0. 010 ~ 0. 040
150 ~ 275	0. 080 ~ 0. 160	0. 020 ~ 0. 050
300 ~ 500	0. 120 ~ 0. 200	0. 040 ~ 0. 060

注：经过精磨的工件，手工研磨直径余量为 5 ~ 10μm。

2）研磨速度的选择见表 9-39。

表 9-39　研磨速度的选择

（单位：m/min）

研磨类型	平　面		外圆	内孔	其他
	单　面	双　面			
湿研	20 ~ 120	20 ~ 60	50 ~ 75	50 ~ 100	10 ~ 70
干研	10 ~ 30	10 ~ 15	10 ~ 25	10 ~ 20	2 ~ 8

注：1. 工件材质软或精度要求高时，速度取小值。

2. 内孔指孔径范围 6 ~ 10mm。

3）研磨压力的选择见表 9-40。

表 9-40　研磨压力的选择　（单位：MPa）

研磨类型	平面	外圆	内孔①	其他
湿研	0. 10 ~ 0. 15	0. 15 ~ 0. 25	0. 12 ~ 0. 28	0. 08 ~ 0. 12
干研	0. 01 ~ 0. 10	0. 05 ~ 0. 15	0. 04 ~ 0. 16	0. 03 ~ 0. 10

①　孔径范围 5 ~ 20mm。

（4）典型面研磨方法举例

1）平面的研磨方法。平面的研磨，一般分为粗研和精研。粗研用有槽的平板，精研用光滑平板。

研磨前，先用煤油或汽油把研磨平板的工作表面清洗干净并擦干，再在研磨平板上涂上适当的研磨剂，然后把工件需要研磨的表面合在研板上进行研磨。研磨时多采用“8”字形或螺旋形运动轨迹（表9-33），但研磨狭窄平面时也常采用直线往复式轨迹，并用金属块作导靠（金属块平面应互相垂直），使金属块和工件紧靠在一起，并跟工件一起研磨（图9-20a），以保持侧面和平面的垂直，防止倾斜和产生圆角。若加工工件数量较多，可采用C形夹将几块工件夹在一起进行研磨（图9-20b）。

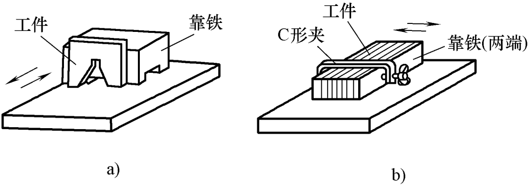


图9-20　平面研磨时辅助工具的应用

研磨平面时，压力应适中，粗研时压力可大些，精研时压力要小些。研磨速度一般控制在每分钟往复20～40次的范围内。

2）外圆柱面的研磨方法。外圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

① 纯手工研磨方法。如图 9-21 所示，先将工件安装在特制的工具上，在工件外圆涂一层薄而均匀的研磨剂，然后装入已固定好的研具孔内，调整好研磨间隙，手握工具手柄，使工件既作正反方向转动，又作轴向往复移动，保证整个研磨面得到均匀的研磨。

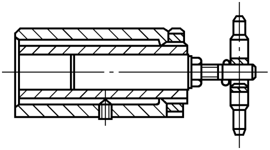


图 9-21 纯手工研磨外圆柱面

② 机械配合手工研磨方法。如图 9-22 所示，在研磨外圆柱面时，由机床夹住工件旋转，手握研具作轴向往复运动进行研磨（图 9-22a、图 9-22b）。

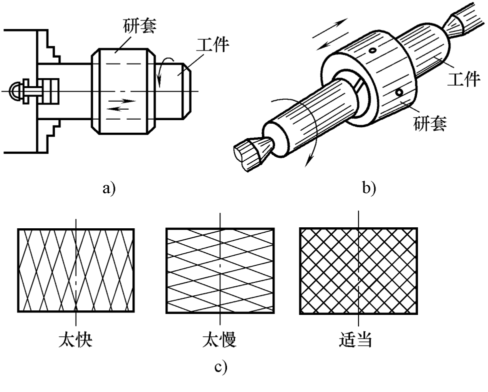


图 9-22 机械配合手工研磨外圆柱面

应根据表9-30选用相应的带研套式研具，先在工件上均匀地涂上研磨剂，套上研具，调整研磨环的研磨间隙，以手能转动为宜，研磨中，应随时调整这个间隙。由于工件存在加工误差，研磨时，手握研具可感觉到有松有紧的地方，紧的地方可多研几下，直到间隙合理而手感松紧很均匀为止。研具应常调头研磨。

研磨时往复运动与工件的旋转运动要有规律。一般工件的转速在直径小于80mm时为100r/min，在直径大于100mm时为50r/min。研具往复运动的速度，根据工件在研具上研磨出来的网纹来控制（图9-22c）。当往复运动的速度适当时，工件上研磨出来的网纹成45°交叉线；太快了，网纹与工件轴线夹角就较小；太慢了，网纹与工件轴线夹角较大。往复运动的速度不论太快还是太慢，都影响工件的精度和耐磨性。

3）内圆柱面（内孔）的研磨方法。内圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

① 纯手工研磨方法（图9-23）。先将工件固定好，将研磨剂均匀地涂在研具表面，然后装入工件中，用手转动研具（或将研具装在铰杠上），同时作轴向往复运动。

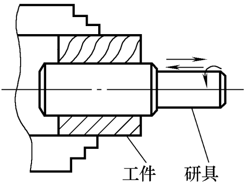


图9-23 纯手工研磨内圆柱面

研具可采用整体式或可调式研磨棒。整体式研磨棒常采用5支一组的形式，其

尺寸差见表 9-41。

表 9-41　整体式成组研磨棒的直径差

号数	尺寸规定/mm	备　　注
1	比被研磨孔小 0.015	开螺旋槽
2	比 1 号研磨棒大 0.01 ~0.015	开螺旋槽
3	比 2 号研磨棒大 0.005 ~0.008	开螺旋槽
4	比 3 号研磨棒大 0.005	不开螺旋槽
5	比 4 号研磨棒大 0.003 ~0.005	不开螺旋槽

② 机械配合手工研磨方法（图 9-24）。将研磨棒夹在机床卡盘上，将研磨剂均匀地涂在研具表面，手握工件在研磨棒全长上作均匀往复移动，研磨速度取 0.3 ~1m/s。研磨中不断调大研磨棒直径，以达到工件要求的尺寸和精度。

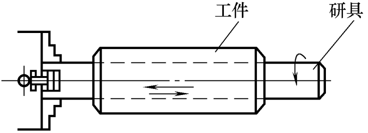


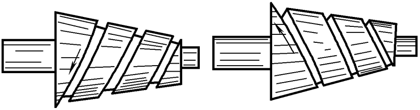
图 9-24　机械配合手工研磨内圆柱面

在调节研磨棒时与工件的配合要适当，配合太紧，易将孔面拉毛；配合太松，孔会研磨成椭圆形。研磨时如果工件的端面有过多的研磨剂被挤出，应及时擦掉，否则会使孔口扩大，研磨成喇叭口形状。如果孔口要求精度很高，可将研磨棒的两端用砂布磨得略小一些，以

避免孔口扩大的缺陷。

4）不通孔研磨。不通孔研具的形式参看表 9-31。研磨前，要求工件孔径尽量接近最终要求，研磨余量尽量要小。研磨棒长度应大于工件 5 ~ 10mm，并使其前端有大于直径 0. 01 ~ 0. 03mm 的倒锥。粗研磨采用 F600 研磨剂，精研磨前洗净残留研磨剂，再用细研磨剂研磨。

5）圆锥面研磨。工件圆锥面的研磨，包括圆锥孔和圆锥体（外圆锥面）。研具结构有整体式和可调式两种，其工作部分的长度应是工件研磨长度的 1. 5 倍左右。整体式研磨棒开有螺旋槽（图 9-25），可调式研磨棒（套）的结构和圆柱面可调式研磨棒（套）类似。



a) b)

图 9-25　带有螺旋槽的圆锥面研磨棒

a）左向螺旋槽　b）右向螺旋槽

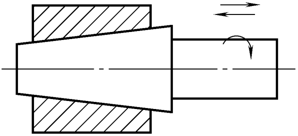


图 9-26　研磨圆锥面

研磨一般在车床或钻床上进行，研磨棒的转动方向应与螺旋槽方向一致。研磨时，研磨棒（套）上应均匀地涂上一层研磨剂，插入工件锥孔（或锥体）中（图 9-26）进行研

磨。研磨时需要多次擦净，重新涂上研磨剂，在作转动的同时，要不断地稍微拔出和推入，反复进行研磨，直至研磨到接近要求的精度时，拔出研具，擦掉研具和工件表面的研磨剂，重新套上进行抛光。

5. 研磨常见问题

（1）平板压砂常见问题及产生原因（表 9-42）

表 9-42　平板压砂常见问题及产生原因

常见问题	产生原因
有不均匀的打滑现象，并伴有吱吱的声响，平板表面发亮	主要是压砂不进，硬脂酸过多，平板材料有硬层
压砂不均匀	硬脂酸过多，平板不吻合，煤油过少，磨料分布不均匀
平板中部磨料密集	对研平板有凹心，煤油过多
平板表面有划痕	研磨剂中混有粗粒，或磨粒未嵌入，硬脂酸分布不匀
平板表面出现黄色或茶褐色斑块烧伤	润滑剂少，对研速度过大或压力过高，研磨时间过长
研磨时噪声很大	磨粒呈脆性
平板表面光亮度不一致	磨粒分布不均匀，或所施加的压力不均匀

（2）研磨时常见的弊病形式及产生原因（表 9-43）

表 9-43　研磨时常见的弊病形式及产生原因

弊病形式	产生原因
表面粗糙度高	1）磨料太粗 2）研磨液选用不当 3）研磨剂涂得薄而不匀 4）研磨时忽视清洁工作，研磨剂中混入杂质
平面成凸形	1）研磨时压力过大 2）研磨剂涂得太厚，工作边缘挤出的研磨剂未及时擦去仍继续研磨 3）运动轨迹没有错开 4）研磨平板选用不当
孔口扩大	1）研磨剂涂抹不均匀 2）研磨时孔口挤出的研磨剂未及时擦去 3）研磨棒伸出太长 4）研磨棒与工件孔之间的间隙太大，研磨时研具相对于工件孔的径向摆动太大 5）工件内孔本身或研磨棒有锥度
孔成椭圆形或圆柱有锥度	1）研磨时没有更换方向或及时调头 2）工件材料硬度不匀或研磨前加工质量差 3）研磨棒本身的制造精度低

三、珩磨

珩磨是一种低速磨削，常用于内孔表面的光整、精加工。珩磨油石装在特制的珩磨头上，由珩磨机主

轴带动珩磨头作旋转和往复运动，并通过其中的胀缩机构使油石伸出，向孔壁施加压力以作进给运动，从而切去工件上极薄的一层金属，形成交叉而不重复的网纹。为提高珩磨质量，珩磨头与主轴一般都采用浮动连接，或用刚性连接面配用浮动夹具，以减少珩磨机主轴回转中心与被加工孔的同轴度误差对珩磨质量的影响。

珩磨加工精度高。加工小孔圆度误差可达 0.5μm，圆柱度误差 1μm；加工中等孔圆度误差可达 3μm 以下，孔长 300 ~ 400mm，圆柱度误差在 5μm 以下。尺寸精度，小孔为 1 ~ 2μm；中等孔可达 10μm 以下。

珩磨加工表面质量好。珩磨是面接触低速切削，磨粒的平均压力小，发热量小，变质层小。加工表面粗糙度为 *Ra*0.04 ~ 0.4μm。

珩磨加工表面使用寿命高。珩磨加工的表面具有交叉网纹，有利于油膜的形成和保持，其使用寿命比其他加工方法高一倍以上。

珩磨加工切削效率高。因珩磨是面接触加工，同时参加切削的磨粒多，所以切削效率高。

珩磨加工范围广。珩磨主要用于加工各种圆柱形通孔、径向间断的表面孔、不通孔和多台阶孔等。加工的圆柱孔径范围为 1 ~ 1200mm 或更大，长径比 $L/D \geqslant 10$，几乎所有金属材料均能加工。

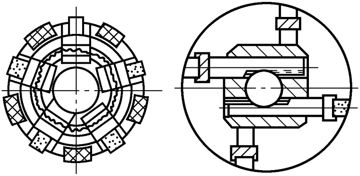
1. 珩磨头的结构及连接方式

（1）珩磨头结构

珩磨孔的加工精度、表面质量、珩磨效率和油石寿

命均受珩磨头结构的影响，所以要求珩磨头具有结构刚性好、油石座与头体的配合间隙小、油石涨缩均匀、切削液便于注入和容易排屑等特点。

珩磨头有滑动式（图 9-27）和摆动式（图 9-28）两种。其中，滑动式又分为对称中心式和不对称中心式。



a) b)

图 9-27 滑动式珩磨头结构

a）对称中心式 b）不对称中心式

对称中心滑动式珩磨头，各组合零件对称，刚性好，易加工，便于修整被加工孔的形状精度，易于达到高精度和表面质量，切削效率高，因此使用广泛。

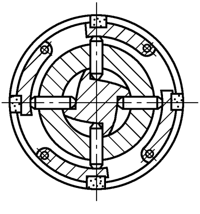


图 9-28 摆动式珩磨头结构

（2）常用珩磨头的结构形式

1）磨中等孔径的珩磨头（图 9-29）。

2）磨较小孔径的珩磨头（图 9-30）。

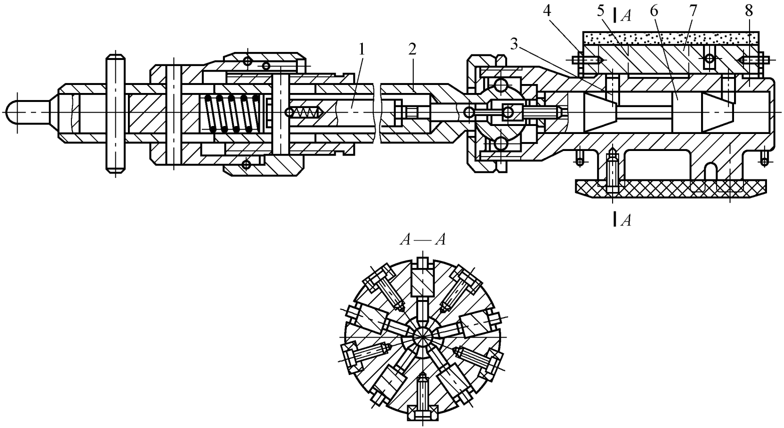


图 9-29　磨中等孔径的珩磨头

1—涨芯　2—接杆　3—顶销　4—弹簧　5—油石
6—锥体　7—油石座　8—珩磨头体

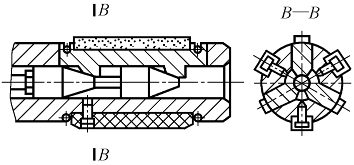


图 9-30　磨较小孔径的珩磨头

3）磨小孔径的珩磨头（图 9-31）。ϕ5mm 以上的小孔珩磨一般采用单油石珩磨头。油石由单面锲进给，并镶有两个硬质合金导向条，可增加珩磨头的刚性，提高珩磨精度及效率。

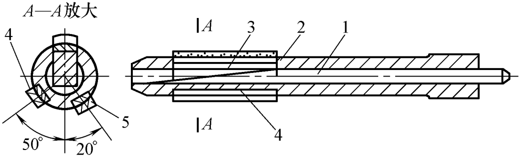


图 9-31　磨小孔径的珩磨头

1—胀锲　2—本体　3—油石座

4—辅助导向条　5—主导向条

4）磨多台阶孔的长珩磨头（图 9-32）。

5）与手动涨缩机构直接连接的珩磨头（图 9-33）。

6）无万向接头的珩磨头（图 9-34）。

7）有万向接头的珩磨头（图 9-35）。

8）不通孔用珩磨头（图 9-36）。不通孔珩磨需要选用换向精度要求较高的珩磨机，其往复换向误差不大于 0.5mm，珩磨主轴的轴向窜动、珩磨头与油石座的轴向

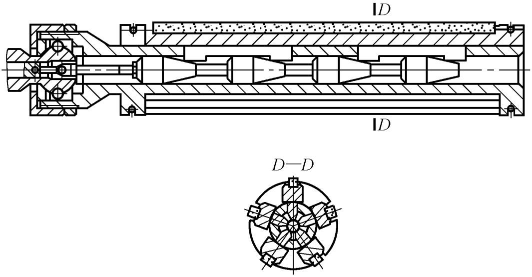


图 9-32　磨多台阶孔的长珩磨头

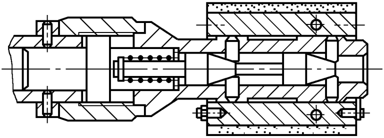


图 9-33　手动珩磨头

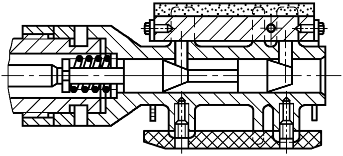


图 9-34　无万向接头的珩磨头

间隙均需严格要求。

9）锥孔用珩磨头（图 9-37）。锥孔用珩磨头，其锥形心轴 1 的锥度必须与珩磨孔要求的锥度一致。珩磨时

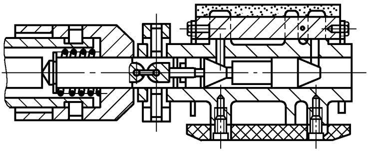


图 9-35　有万向接头的珩磨头

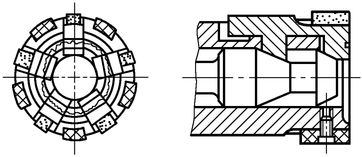


图 9-36　不通孔用珩磨头

珩磨头进入工件，心轴 1 通过键 5 带动磨头本体 2 转动，同时磨头本体 2 又作往复运动，带动油石座 3 随心轴转动，且沿心轴圆锥面移动，从而珩出一定锥度的孔。锥孔珩磨余量不宜过大，而且心轴旋转时的振摆与轴向窜动应保持最小。珩磨头采用刚性连接，并配用固定式夹具。

（3）珩磨头的连接方式

珩磨头是通过连接杆与珩磨机主轴连接，连接方式有浮动、半浮动和刚性连接三种。刚性连接一般在夹具上采用浮动形式，以适应主轴、珩磨头与工件孔的对中。

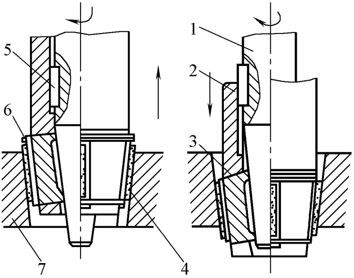


图 9-37　锥孔用珩磨头

1—锥形心轴　2—磨头本体　3—油石座　4—油石

5—键　6—弹簧　7—工件

1）浮动连接。珩磨头上下端分别使用万向接头连接。珩磨头在珩磨过程中可处于自由状态，如图 9-38 所示。球头浮动连接杆结构简单、灵活、浮动范围大，并可用螺母调节浮头关节间的间隙。

2）半浮动连接。半浮动连接杆的结构如图 9-39 所示，只在接杆上端有一个万向接头。

3）刚性连接。刚性连接杆的结构形式如图 9-40 所示。

刚性连接杆有整体结构的短孔珩磨头（图 9-41）和螺纹连接结构（图 9-42）。

刚性连接均要有较高的制造精度与严格的调整对中要求，多用于珩磨小孔、短孔和需要伸入工件内部的孔的加工。

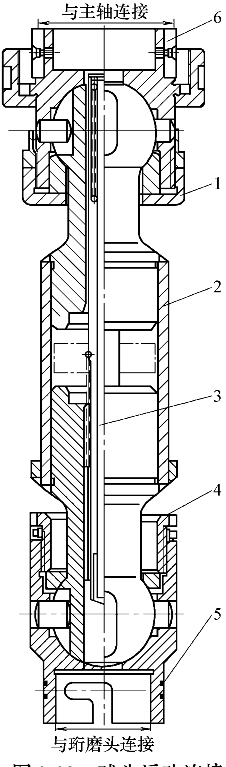


图 9-38　球头浮动连接杆

1、4—调整螺母　2—双球头杆　3—进给推杆　5—弹簧卡箍　6—键

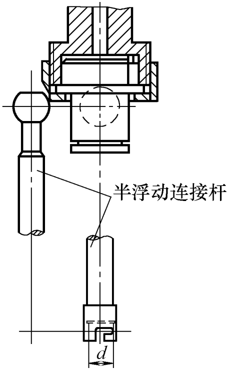


图 9-39　半浮动连接杆

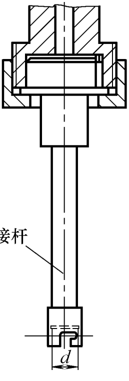


图 9-40　刚性连接杆

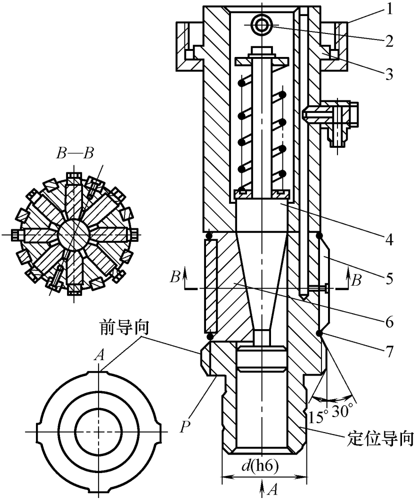


图 9-41　短孔珩磨头

1—连接螺母　2—短销　3—本体　4—胀锥　5—导向条
6—油石座　7—弹簧圈

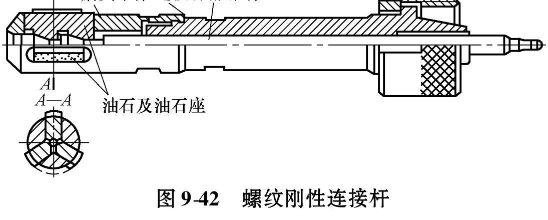


图 9-42　螺纹刚性连接杆

2. 珩磨油石的选择

珩磨油石需根据工件的材料、硬度、珩磨孔径的尺寸、珩磨精度和表面粗糙度等选用。

（1）珩磨油石磨料的选择（表 9-44）

（2）珩磨油石磨料粒度的选择

油石粒度越粗，切削效率越高，珩磨表面粗糙度越粗，在一般情况下油石的粒度与珩磨表面粗糙度的关系见表 9-45。

表 9-44　珩磨油石磨料的选择

磨料名称	代号	适于加工的材料	应用范围
棕刚玉	A	未淬火的碳钢、合金钢等	粗珩
白刚玉	WA	经热处理的碳钢、合金钢等	精珩、半精珩
单晶刚玉	SA	韧性好的轴承钢、不锈钢、耐热钢等	粗珩、精珩
铬刚玉	PA	各种淬火与未淬火钢件	精珩
黑色碳化硅	C	铸铁、铜、铝等及各种非金属材料	粗珩
绿色碳化硅	GC	铸铁、铜、铝等。多用于淬火钢及各种脆、硬的金属与非金属材料	精珩

（续）

磨料名称	代号	适于加工的材料	应用范围
人造金刚石	MBD 6～8	各种钢件、铸铁及脆、硬的金属与非金属材料，如硬质合金等	粗珩、半精珩
立方氮化硼	CBN	韧性好且硬度和强度较高的各种合金钢	粗珩、精珩

表 9-45　珩磨油石磨料粒度的选择

磨料	粒度	要求的表面粗糙度 $Ra/\mu m$				
		淬火钢	未淬火钢	铸铁	非铁金属	备注
刚　玉 碳化硅	F100 ～F180	— —	1.0 ～1.25 —	— 1.0	— 1.25 ～1.6	
刚　玉 碳化硅	F240	0.63 —	0.8 ～1.0 —	— 0.63	— 1.0 ～1.25	
刚　玉 碳化硅	F280	0.4 ～0.32 —	0.63 ～1.0 —	— 0.5 ～0.4	— 0.8	
刚　玉 碳化硅	F320	— 0.25 ～0.32	— 0.50 ～0.63	— 0.4 ～0.5	— 0.63 ～0.8	钢件用 绿碳化硅

（续）

磨料	粒度	要求的表面粗糙度 R_a/μm				
		淬火钢	未淬火钢	铸铁	非铁金属	备注
刚玉 碳化硅	F400	— 0.16~0.2	— 0.25~0.32	— 0.25~0.32	— 0.4~0.5	钢件用 绿碳化硅
刚玉 碳化硅	F600	— 0.10~0.16	— 0.20~0.25	— 0.125~0.16	— 0.32~0.4	钢件用 绿碳化硅

（3）珩磨油石硬度的选择

在保证自锐的条件下，要求有较高的耐用度。如果硬度过高，则自锐性差，易使工件变形；如果硬度过低，则耐用度低，表面粗糙度高。一般硬度选用J~N为宜。珩磨软材料应选用高硬度油石，珩磨韧性大的材料宜选用软一些的油石，珩磨小孔、花键孔和间断孔时，要选用较硬的油石。珩磨油石硬度的选择见表9-46。

（4）结合剂的选择

普通磨料的珩磨油石一般采用陶瓷、树脂结合剂。陶瓷结合剂（V）油石性能稳定，性脆，可用于各种材料的粗珩磨或精珩磨。树脂结合剂（B）的油石有弹性，能抗振，能在珩磨压力较高的条件下使用，多用于低粗糙度珩磨。

表 9-46 珩磨油石硬度的选择

油石粒度号	珩磨余量/mm（直径方向）	油石硬度	
		钢　件	铸　铁
F100 ~ F150	0. 05 ~0. 5 0. 01 ~0. 1	L ~ Q N ~ T	N ~ T Q ~ Y
F180 ~ F280	0. 05 ~0. 5 0. 01 ~0. 1	J ~ P L ~ S	L ~ R Q ~ T
F360 ~ F600	0. 05 ~0. 15 0. 01 ~0. 05	E ~ M M ~ R	K ~ Q M ~ T

注：1. 在正常珩磨条件下，油石硬度要在所示范围内选用偏软值。

2. 当工件材料硬度变动时，油石硬度应朝相反方向变动 1 ~2 小级。

（5）组织和浓度的选择

一般采用疏松组织。当接触面大，材料硬度低，韧性大且粗珩磨时选用粗一些，否则密一些。

超硬材料油石浓度是指每 1cm^3 体积中含磨料的质量。1cm^3 体积中含磨料 4. 4ct（1ct = 0. 203g），定为 100%。珩磨油石常用浓度为 50%、75%、100%、150%4 种，其中 75% 用于粗珩磨，100% 用于精珩磨，这两种用得较多。当珩磨表面有沟槽、要求形状精度较高和工件材料较硬时，选用浓度要高一些，反之则选低一些。

（6）珩磨油石长度的选择

珩磨油石的长度（l）取决于工件长度（L）。油石过短，会降低珩磨效率；油石过长，则容易使孔产生鼓形，影响孔的圆柱度。珩磨油石长度的选择见表9-47。

表 9-47　珩磨油石长度的选择

（单位：mm）

孔长 L	油石长 l	选择实例
一般孔	$l=\left(\frac{1}{3}\sim\frac{3}{4}\right)L$	珩磨 ϕ100mm × 195mm 的孔，$l=100$
短孔（$L/D<1$）	$l=(1\sim1.2)L$	珩磨 ϕ65mm × 38mm 的孔，$l=40$mm
等径间断长孔	$l\geqslant3$ 个孔的跨距	

（7）珩磨油石数量和宽度的选择

在不影响珩磨头刚性的条件下，尽可能采用多块油石，并适当减小油石宽度。如果能保持油石总宽度占孔周长的0.15～0.28，可获得较高的珩磨效率，并减少孔的变形。当工件有单、双槽或横向孔时，油石块数最好采用5块以上的奇数或油石的宽度远大于槽宽，为槽宽或径向孔径的两倍以上。金刚石和立方氮化硼油石的宽度为普通油石宽度的1/3～1/2。珩磨油石的数量和宽度的选择见表9-48。

3. 珩磨工艺参数的选择

（1）珩磨速度和珩磨交叉角

表 9-48　珩磨油石数量和宽度的选择

（单位：mm）

珩磨孔径	油石数量（块）	油石断面尺寸（$B \times H$）	金刚石油石断面尺寸（$B \times H$）
5 ~ 10	1 ~ 2	—	1.5 × 2.2
10 ~ 13	2	2 × 1.5	2 × 1.5
13 ~ 16	3	3 × 2.5	3 × 2.5
16 ~ 24	3	4 × 3.0	3 × 3.0
24 ~ 37	4	6 × 4.0	4 × 4.0
37 ~ 46	3 ~ 4	9 × 6.0	4 × 4.0
46 ~ 75	4 ~ 6	9 × 8.0	5 × 6.0
75 ~ 110	6 ~ 8	10 × 9，12 × 10	5 × 6.0
110 ~ 190	6 ~ 8	12 × 10，14 × 12	6 × 6.0
190 ~ 310	8 ~ 10	16 × 13，20 × 20	—
> 300	> 10	20 × 20，25 × 25	—

珩磨速度 v_c 由圆周速度 v_t 与往复速度 v_a 合成。磨粒在加工面上切削出交叉网纹，形成珩磨交叉角 θ。一般珩磨交叉角选用45°左右，若要求表面粗糙度低一些，则珩磨交叉角要小一些。珩磨不同材料的工艺参数见表9-49。

表 9-49　珩磨不同材料的工艺参数

工件材料	工序	合成速度 /(m/min)	交叉角 θ/(°)	圆周速度 v_t/(m/min)	往复速度 v_a/(m/min)
灰铸铁	粗 精	25～30 ≈35	45 45	23～28 32	10～12 13.5
球墨铸铁	粗 精	22～25 ≈30	45 45	20～23 27	9～10 12
未淬火钢	粗 精	20～25 ≈28	50～60 45	18～22 25	9～11 12
纯铁	粗 精	20～30 ≈33	45 45	23～28 31	10～12 12
合金钢	粗 精	25 ≈28	45 45	23 26	10 11
淬硬钢	粗 精	15～22 ≈30	40 40	14～21 28	5～8 10
铝	粗 精	25～30 ≈35	60 45	21～26 30	12～15 17.5
青铜	粗 精	25～30 ≈35	60 45	21～26 30	12～15 17.5
黄铜	粗 精	18～30 50	60 30	15～26 48	9～15 13
纯铜	粗 精	25～30 40	60 45	21～26 38	12～15 16
硬铬	精	15～22	30	14～21	4～6
塑料	粗 精	25～30 ≤40	45 30	23～28 37	10～12 11

（2）珩磨油石的工作压力

珩磨油石的工作压力，即油石通过进给机构施加于工件表面单位面积上的压力。工作压力增大时，材料去除量和油石磨耗量也增大，但珩磨精度较差，表面粗糙度升高。当油石压力超过极限压力时，油石即急剧磨耗。珩磨油石的工作压力见表 9-50。

表 9-50　珩磨油石的工作压力

（单位：MPa）

珩磨油石的极限压力	珩磨工序	加工材料	油石工作压力
陶瓷油石　≤2.5	粗　珩	铸铁	0.5～1.5
树脂油石　1.5～2.5		钢	0.8～2.0
金刚石油石　3.0～5.0	精　珩	铸铁	0.2～0.5
立方氮化硼　2.0～3.5		钢	0.4～0.8
	光　珩	铸铁	0.05～0.10
		钢	0.05～0.15

（3）珩磨油石的行程

珩磨头在往复运动中，必须保证油石在孔的两端超出一定距离，这一距离通常称为越程。越程的长短会直接影响孔的圆柱度（图 9-43）。

越程量过大，则孔端多珩，孔易出现喇叭形；两端越程量均小，则油石在中部的重叠珩磨时间过长，易出现腰鼓形；一端越程量大，一端越程量小，则易出现锥度。

当油石长度为 l，孔长度为 L，上、下端越程量分别

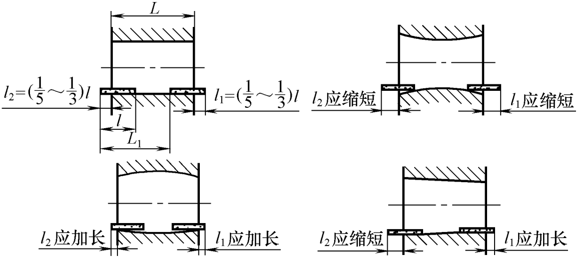


图 9-43　珩磨油石行程与越程量的调整

为 l_1、l_2 时，则油石在孔两端的正常越程一般选为

$$l_1 = l_2 = (1/5 \sim 1/3)l$$

则油石的工作行程长度为

$$L_1 = L + l_1 + l_2 - l$$

4. 珩磨余量的选择

珩磨余量一般为前工序总误差的 2 ~ 2.5 倍，这样可以切除前工序的加工痕迹和形状误差。在保证珩磨质量的条件下，尽量减少珩磨余量（表 9-51）。

表 9-51　珩磨余量的选择

（单位：mm）

工件材料		珩磨余量		
		单件生产	成批大量生产	特殊情况
铸　铁		0.06 ~ 0.15	0.02 ~ 0.03	≈0.4
钢	未淬硬	0.06 ~ 0.15	0.02 ~ 0.06	1 ~ 2
	淬硬	0.02 ~ 0.08	0.005 ~ 0.03	≈0.1

（续）

工件材料	珩磨余量		
	单件生产	成批大量生产	特殊情况
硬　铬	0.03～0.08	0.02～0.03	
粉末冶金	0.1～0.2	0.05～0.08	
轻金属	0.03～0.1	0.02～0.08	≈0.2
非铁金属	0.04～0.08	0.02～0.08	

5. 珩磨液的选择

珩磨液有油剂和水剂两种（表 9-52）。水剂珩磨液

表 9-52　珩磨液的选择

类型	序号	成分及比例（%）					适用范围
		煤油	L-AN32全损耗系统用油或锭子油	油酸	松节油	其余	
油剂	1	80～90	10～20			石油磺酸钡	钢、铸铁、铝
	2	55		40	5	硫磺＋猪油	高强度钢、韧性材料
	3	100				硫化矿物油	粗珩铸铁、青铜
	4	98				硫化矿物油	硬质合金
	5	95					铝、铸铁
	6	90				硫化矿物油	铸铁
	7	75～80					软钢
	8	95					硬钢

（续）

<table>
<tr><th rowspan="5">水剂</th><th>序号</th><th>磷酸三钠</th><th>环烷皂</th><th>硼砂</th><th>亚硝酸钠</th><th>火碱</th><th>磺化蓖麻油（太古油）</th><th>其余</th><th>用途</th></tr>
<tr><td>1</td><td>0.6</td><td>0.6</td><td>0.25</td><td>0.25</td><td></td><td rowspan="4">0.5</td><td>水</td><td rowspan="4">粗珩钢、铸铁、青铜及各种脆性材料</td></tr>
<tr><td>2</td><td>0.6</td><td></td><td></td><td>0.25</td><td></td><td>水</td></tr>
<tr><td>3</td><td>0.25</td><td></td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>水</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0.6</td><td></td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>水</td></tr>
</table>

注：表中百分数为质量分数。

的冷却和冲洗性能好，适用于粗珩磨；油剂珩磨液宜适当加入硫化物，可提高其抗粘焊性和抗堵塞性。对高硬度和高脆性材料的珩磨，宜用低粘度的珩磨液。

树脂结合剂油石不得采用含碱的珩磨液，因为它会降低油石的结合强度。立方氮化硼油石不得使用水剂珩磨液，因为它的高温起水解作用，使油石出现急剧磨耗。

6. 对工件珩磨前的要求

1）严格控制孔的尺寸公差，以保证合理的珩磨余量。

2）珩磨前原始精度不宜太差，以免珩磨转矩过大。在珩磨刚性大的中等孔径时，珩磨前孔的圆柱度误差一般应小于 15μm。

3）珩磨前的加工表面不宜太粗糙，以防止珩磨转矩过大。为了珩磨顺利，孔面也不宜太光滑，珩前加工

表面粗糙度应大于 $Ra5\mu m$。

4）待珩表面不得有硬化层、残留氧化物、油漆和油垢等，以免珩磨困难和堵塞油石。

5）不得使用钝化了的油石，以免加工表面形成挤压硬化层；若为铸铁表面，则石墨使珩磨很难进行，而且表面会出现麻坑。

四、矫正

通过外力作用，消除材料或工件的弯曲、扭曲、凹凸不平等缺陷的加工方法称为矫正。

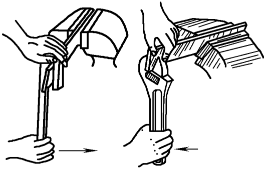
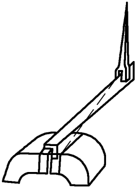
金属材料的变形有两种，一种是在外力作用下，材料发生变形，当外力去除后，仍能恢复原状，这种变形称为弹性变形。另一种是当外力去除后不能恢复原状，这种变形称为塑性变形。矫正是对塑性变形而言，所以只有对塑性好的材料才能进行矫正。

金属板材、型材矫正的实质，就是使它产生新的塑性变形来消除原来的不平、不直或翘曲变形。在矫正过程中，金属板材、型材要产生新的塑性变形，它的内部组织变得紧密，金属材料的表面硬度增加，性质变脆。这种材料变硬的现象叫做冷作硬化。冷硬后的材料给进一步的矫正或其他冷加工带来困难，必要时可进行退火处理，使材料恢复到原来的力学性能。

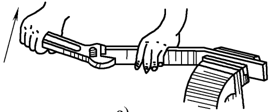
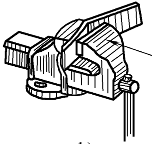
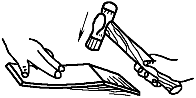
按矫正时产生矫正力的方法，矫正可分为手工矫正和机械矫正两种。

1. 常用手工矫正方法（表 9-53）

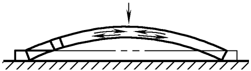
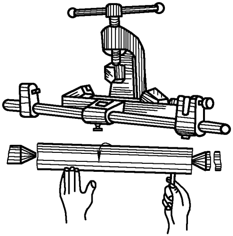
表 9-53　常用手工矫正方法

矫正方法	实例图示	说　　明
扭转法	1）扁钢扭曲的矫正  a)　　　　b)	将扁钢的一端用虎钳夹住,另一端用叉形扳手(图 a)或活扳手(图 b)夹持,向扁钢扭曲的相反方向扭转,待扭曲变形消失后,再用锤击将其矫平
	2）角钢扭曲的矫正 	与扁钢扭曲矫正的方法相同

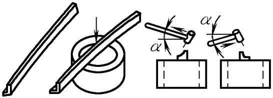
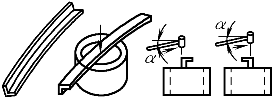
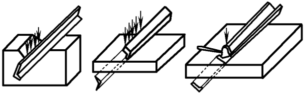
（续）

矫正方法	实例图示	说　　明
弯曲法	1）扁钢弯曲的矫正  a)  b)  c)	扁钢在厚度方向上弯曲时，将近弯曲处夹入台虎钳，然后在扁钢的末端用扳手朝相反的方向扳动（图 a），或将扁钢的弯曲处放在台虎钳口内，直接压直（图 b），最后放到平板上或铁砧上用锤子锤打，矫正到平直（图 c）

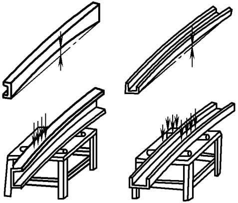
（续）

矫正方法	实例图示	说　　明
弯曲法	2）棒料、轴类工件的矫正  a)  b)	直径小的棒料，可采用扁钢在宽度方向上弯曲时的矫正方法进行矫正（图a） 轴类工件的矫直，一般用压力机进行（图b）

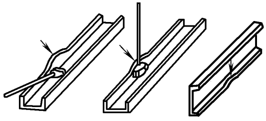
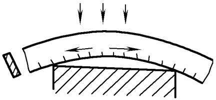
（续）

矫正方法	实例图示	说　　明
弯曲法	3）角钢外弯的矫正 	矫正角钢外弯时，角钢可放在钢圈上或铁砧上。在用力锤击时，锤柄应稍微抬高或放低一个角度（α 约为 5°）
	4）角钢内弯的矫正 	矫正角钢内弯时，角钢应背（宽）面朝上立放，其矫正方法与外弯矫正方法相同
	5）角钢角变形的矫正  a)　b)　c)	矫正角钢的角变形时，可以在 V 形铁上或平台上锤击矫正。图 a、b 为角钢夹角大于 90°时的矫正，图 c 为角钢夹角小于 90°时的矫正。 如果角钢同时有几种变形，则应先矫正变形较大的部位，后矫正变形较小的部位。如果角钢既有弯曲变形，又有扭曲变形，应先矫正扭曲变形，然后矫正弯曲变形

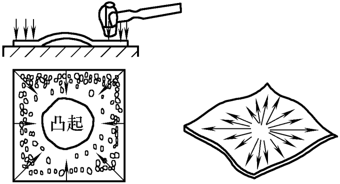
(续)

矫正方法	实例图示	说　　明
弯曲法	6）槽钢弯曲的矫正  a)　　　　b)	槽钢弯曲变形有立弯(图 a)(腹板方向的弯曲)、旁弯(图 b)(翼板上的弯曲)。矫正方法是将槽钢用两根圆钢垫起,然后用大锤锤击

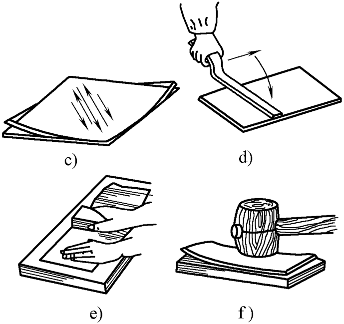
（续）

矫正方法	实例图示	说　　明
弯曲法	7）槽钢翼板变形矫正  a)　b)　c)	槽钢翼板有局部变形时,可用一个手锤垂直抵住(图 a)或横向抵住(图 b)翼板凸起部位,用另一个锤锤击翼板凸处。当翼板有局部凹陷时,也可将翼板平放(图 c)锤击凸起处,直接矫平
延展法	1）扁钢宽度方向上的弯曲矫正 	扁钢在宽度方向上弯曲时,可先将扁钢的凸面向上放在铁砧上,锤打凸面,然后再将扁钢平放在铁砧上,锤击弯形里面(图中弧内短线部分为锤击部位),锤击后使这一边材料伸长而变直

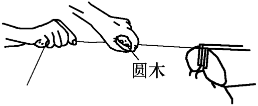
(续)

矫正方法	实例图示	说　　明
延展法	2）薄板材料的矫正  a)　　　　b)	薄板中部凸起(图 a),矫正时可锤击板料的边缘,按图中箭头所示方向,从外到里锤击将材料矫平 薄板四周呈波纹状(图 b),矫正锤击点应按图中箭头所示方向从中间向四周反复多次锤打,使其矫平 薄板对角翘曲变形(图 c),矫正时锤击点应沿另外没有翘曲的对角线锤击,使其延展而矫平

（续）

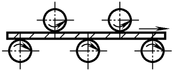
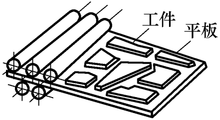
矫正方法	实例图示	说　　明
延展法		薄板有微小扭曲时(图 d),可用抽条从左到右(或从右到左)顺序抽打平面,容易达到平整 铜箔、铝箔等薄而软的箔片变形,可将箔片放在平板上,一手按住箔片,一手用木块沿变形处挤压(图 e),使其延展达到平整 也可用木锤或皮锤锤击矫平(图 f)

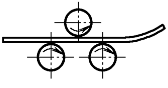
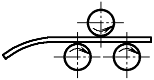
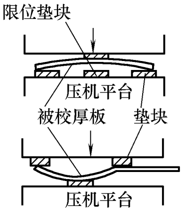
（续）

矫正方法	实例图示	说　　明
延展法	3）厚板料的矫正	由于厚板材料的刚性较好，矫正时可直接锤击凸起处
伸张法	细长线材的矫直  	将蜷曲线材一端夹在台虎钳上，在钳口处把线材在圆木上绕一圈，用左手握住圆木向后拉，右手展开线材，线材在拉力作用下，得到伸长矫直

2. 常用机械矫正方法(表 9-54)

表 9-54 常用机械矫正方法

矫正方法	图 示	说 明
用滚板机矫正板料	 a)  b)	用滚板机矫正板料时,厚板辊少,薄板辊多,上辊双数,下辊单数(图 a)。矫正厚度相同的小块板料,可放在一块大面积的厚板上同时滚压多次,并翻转工件,直至矫平(图 b)

矫正方法	图　　示	说　　明
用滚圆机矫正板料	 a) 第一次正滚  b) 第二次反滚	用三辊滚圆机矫正板料,它是通过材料的反复弯曲变形而使应力均匀,从而提高板料的平正度
用压力机矫正厚板		厚板矫正可用油压机进行,在工件凸起处施加压力,使材料内应力超过屈服极限,产生塑性变形,从而纠正原有变形。但应适当采用矫枉过正的方法,因为在矫正时材料由塑性变形而获得平正,但在卸载后还是有些部分会弹性恢复

五、弯形

将原来平直的板料或型材弯成所需形状的加工方法称为弯形。

弯形是使材料产生塑性变形，因此只有塑性好的材料才能进行弯形。图 9-44a 为弯形前的钢板，图 9-44b 为钢板弯形后的情况。它的外层材料伸长（图中 *e-e* 和 *d-d*），内层材料缩短（图中 *a-a* 和 *b-b*），而中间一层材料（图中 *c-c*）在弯形后的长度不变，这一层叫中性层。材料弯曲部分的断面，虽然由于发生拉伸和压缩而产生变形，但其断面面积保持不变。

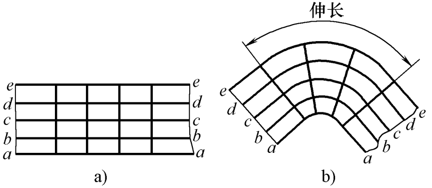


图 9-44　钢板弯形前后的情况
a）弯形前　b）弯形后

由于工件在弯形后，中性层的长度不变，因此，在计算弯曲工件的毛坯长度时，可按中性层的长度计算。在一般情况下，工件弯形后，中性层不在材料的正中，而是偏向内层材料的一边。经实验证明，中性层的位置，与材料的弯曲半径 r 和材料厚度 t 有关。

在材料弯曲过程中，其变形大小与下列因素有关

(图 9-45)：

1) r/t 比值越小，变形越大；反之，r/t 比值越大，则变形越小。

2) 弯曲角 α 越小，变形越小；反之，弯曲角 α 越大，则变形越大。

由此可见，当材料厚度不变，弯曲半径越大，变形越小，而中性层越接近材料厚度的中间。如弯曲半径不变，材料厚度越小，而中性层也越接近材料厚度的中间。

因此在不同的弯曲情况下，中性层的位置是不同的(图 9-46)。

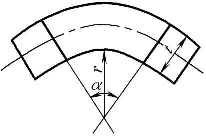


图 9-45 弯曲半径和弯曲角

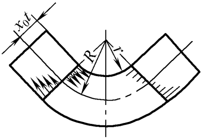


图 9-46 弯曲时中性层的位置

表 9-55 为中性层的位置系数 x_0 的数值。

表 9-55 弯曲中性层位置系数 x_0

$\frac{r}{t}$	0.25	0.5	0.8	1	2	3	4	5
x_0	0.2	0.25	0.3	0.35	0.37	0.4	0.41	0.43

$\frac{r}{t}$	6	7	8	10	12	14	>16
x_0	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5

从表中 r/t 比值可知，当弯曲半径 $r\geqslant16t$ 时，中性层在材料厚度的中间。在一般情况下，为了简化计算，当 $r/t\geqslant5$ 时，即按 $x_0=0.5$ 进行计算。

1. 弯形件展开长度的计算方法

（1）工件弯形前毛坯长度的计算

1）将工件复杂的弯形形状分解成几段简单的几何曲线和直线。

2）计算 r/t 值，按表 9-55 查出中性层位置系数 x_0 值。

3）按中性层分别计算各段几何曲线的展开长度。

$$A = \pi(r + x_0 t)\frac{\alpha}{180^\circ}$$

式中 A——圆弧部分的长度（mm）；

r——内弯曲半径（mm）；

x_0——中性层位置系数；

t——材料厚度（mm）；

α——弯形角（整圆弯曲时 $\alpha=360^\circ$，直角弯曲时 $\alpha=90^\circ$）。

对于内边弯成直角不带圆弧的制件，按 $r=0$ 计算。

4）将各段几何曲线的展开长度和直线部分相加，即为工件毛坯的总长度。

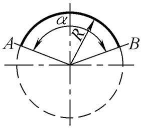
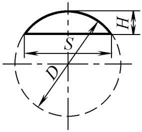
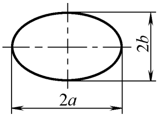
（2）常用曲线展开长度的计算公式（表 9-56）

（3）不同弯形件展开长度的计算（表 9-57）

2. 弯形方法

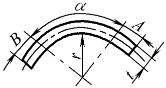
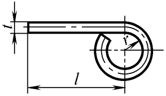
弯形分为冷弯和热弯两种。冷弯是指材料在常温下进行的弯形，它适合于材料厚度小于 5mm 的钢材。热弯是指材料在预热后进行的弯形。

表 9-56　常用曲线展开长度的计算公式

曲线名称	简　图	计算公式
圆周		$C=2\pi R=\pi D$
任意圆弧 （AB 弧长）	 	$L=\dfrac{\pi R\alpha}{180^\circ}=0.01745R\alpha$
弓　形	 	$D=H+\dfrac{S^2}{4H}$ $H=\dfrac{D-\sqrt{D^2-S^2}}{2}$ $S=2\sqrt{H(D-H)}$
椭　圆	 	较精确值 $P=\pi\times\sqrt{2(a^2+b^2)-\dfrac{(a-b)^2}{4}}$ 近似值 $P=\pi(a+b)$

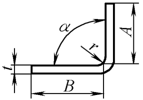
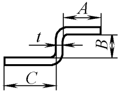
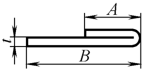
注：C—圆周长　R—半径　D—直径　α—任意圆弧$\widehat{AB}$所对圆心角　H—弦高　S—弦长　a—椭圆长轴半径　b—椭圆短轴半径　P—椭圆周长。

表 9-57　不同弯形件展开长度的计算

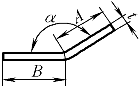
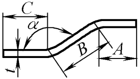
弯形件简图	计算方法
弯曲部分有圆角的$\frac{r}{t}>0.5$ 	弯曲部分(α角范围内)中性层长度加不弯曲部分直线长度之和 $L=A+B+\frac{\alpha}{180°}(r+x_0t)\pi$　$\alpha>90°$时,x_0值宜适当减小,反之宜大 弯曲件有几个弯角时,则将全部弯曲部分展开长加全部直线部分长即可
铰链圈弯曲 	$L=1.5\pi(r+x_0t)+r+l$ 铰链圈中性层位移系数x_0

r/t	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2	2.5	≥3
x_0	0.77	0.73	0.70	0.67	0.62	0.58	0.54	0.52	0.5

（续）

弯形件简图	计算方法
90°折角 $\left(\frac{r}{t}<0.5\right)$ 	$L=A+B+C+\cdots+nkt$ A,B(包括多折角时的各段直边)都系内缘尺寸 n——折角数目 k——折角系数无论单角、多角弯曲、每次只弯一个角时,$k=0.4$;每次弯二个角,$k=0.3$,每次弯三个角以上时,$k=0.25$
180°折角 	$L=A+B-0.43t$

（续）

弯形件简图	计算方法
>90°折角 	$L=A+B+\frac{180°-\alpha}{90°}\times 0.4t$
>90°多折角 	当各折角相同时 $L=A+B+C+\cdots\frac{180°-\alpha}{90°}nkt$ 当各折角不同时 $L=A+B+C+\cdots$ $\left(\frac{180°-\alpha_1}{90°}+\frac{180°-\alpha_2}{90°}+\cdots\right)kt$ k 的意义及取值参照本表 90°折角一栏

注：L 为展开长度。

按加工方法，弯形分为手工弯形和机械弯形两种。

(1) 板料弯形

1) 手工弯形举例。

① 卷边。在板料的一端划出两条卷边线，$L = 2.5d$ 和 $L_1 = \frac{1}{4}L \sim \frac{1}{3}L$。然后按图 9-47 所示的步骤进行弯形。

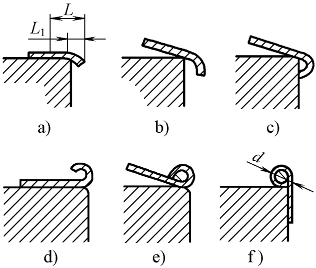


图 9-47 薄板料卷边方法

按图 a 把板料放到平台上，露出 L_1 长并弯成 90°。

按图 b、c 边向外伸料边弯曲，直到 L 长为止。

按图 d 翻转板料，敲打卷边向里扣。

按图 e 将合适的铁丝放入卷边内，边放边锤扣。

按图 f 翻转板料，接口靠紧平台缘角，轻敲接口咬紧。

② 咬缝。咬缝基本类型有 5 种（图 9-48），与弯形操作方法差不多，下料留出咬缝量，缝宽 × 扣数。操作时应根据咬缝种类留余量，决不可以搞平均。一

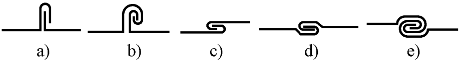


图 9-48　咬缝的种类

a）站缝单扣　b）站缝双扣　c）卧缝挂扣
d）卧缝单扣　e）卧缝双扣

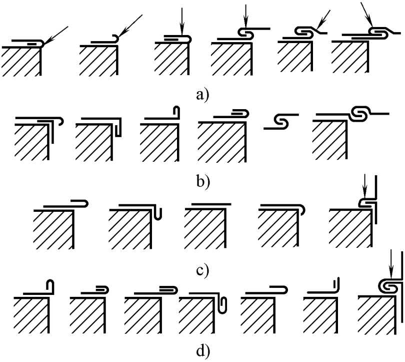


图 9-49　咬缝操作过程

a）卧缝单扣　b）卧缝双扣
c）站缝单扣　d）站缝双扣

弯一翻作好扣，二板扣合再压紧，边部敲凹防松脱（图 9-49）。

③　弯直角工件。如果工件形状简单、尺寸不大，而且能在台虎钳上夹持的，应在台虎钳上弯制直角（图9-50）。

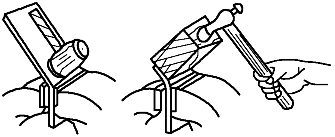


图 9-50　板料直角的弯形方法

a）用锤子直接弯形　b）用垫块间接弯形

a. 先在弯曲部位划好线，线与钳口对齐夹持工件，两边要与钳口垂直。

b. 用木锤在靠近弯曲部位的全长上轻轻敲打，直到打成直角为止（图 9-50a）。

c. 如果弯曲线以上部分较短时，可用硬木块垫在弯曲处再敲打，弯成直角（图 9-50b）。

当加工工件弯曲部位的长度大于钳口长度，而且工件两端又较长，无法在台虎钳上夹持时，可将一边用压板压紧在有 T 形槽的平板上，用木锤或垫上方木条锤击弯曲处（图 9-51），使其逐渐弯成直角。

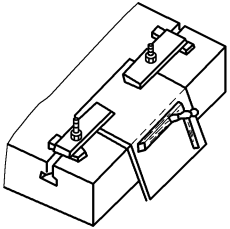


图 9-51　较大板料的弯形方法

④　弯多直角形工件。

如图 9-51 所示的工件，可用木垫或金属垫作辅助工具。工件弯形步骤如下：

a. 将板料按划线夹入台虎钳的两块角衬内，弯成 A 角（图 9-52a）。

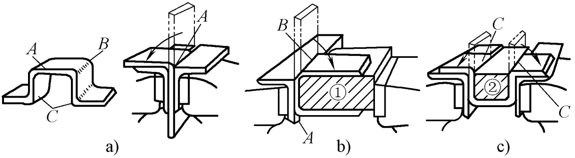


图 9-52　多直角形工件的弯形方法

b. 再用衬垫①弯成 B 角（图 9-52b）。

c. 最后用衬垫②弯成 C 角（图 9-52c）。

⑤　弯圆弧形工件。

例 1

a. 先在材料上划好弯曲处位置线，按线夹在台虎钳的两块角铁衬垫里（图 9-53）。

b. 用方头锤子的窄头锤击，按图 9-53a、b、c 三步初步弯曲成形。

c. 最后在半圆模上修整圆弧至合格（图 9-53d）。

例 2

a. 先划出圆弧中心线 R 和两端转角弯曲线 Q（图 9-54a）。

b. 沿圆弧中心线 R 将板料夹紧在钳口上弯形（图 9-54b）。

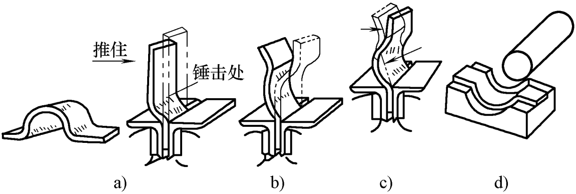


图 9-53　圆弧形工件弯形方法（一）

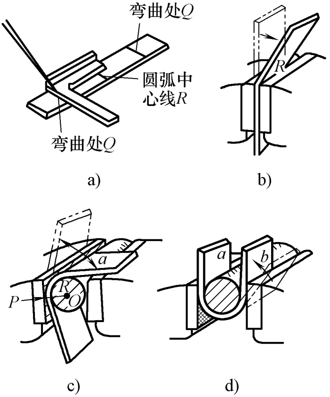


图 9-54　圆弧形工件弯形方法（二）

c. 将心轴的轴线方向与板料弯形线 Q 对正，并夹紧在钳口上，应使钳口作用点 P 与心轴圆心 O 在一直线上，并使心轴的上表面略高于钳口平面，把 a 脚沿心轴弯形，使其紧贴在心轴表面（图 9-54c）。

d. 翻转板料，重复上述操作过程，把 b 脚沿心轴弯形，最后使 a、b 脚平行（图 9-54d）。

⑥ 圆弧和角度结合的工件。

a. 先在板料上划弯形线（图 9-55a）并加工好两端的圆弧和孔。

b. 按划线将工件夹在台虎钳的衬垫内（图 9-55b），先弯好两端 A、B 两处。

c. 最后在圆钢上弯工件的圆弧（图 9-55c）。

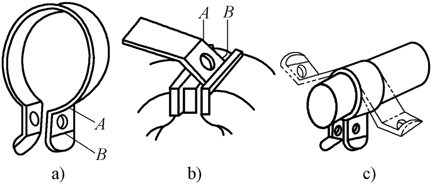
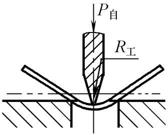


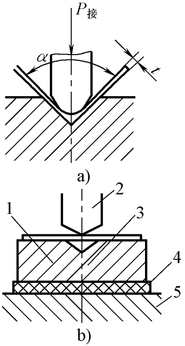
图 9-55 圆弧和角度结合工件的弯形方法

2）机械弯形举例。常用机械弯形的方法及适用范围见表 9-58。

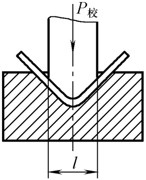
表 9-58　常用机械弯形的方法及适用范围

方法	工序简图	适用范围
压弯	V 形自由弯曲  	凸模圆角半径($R_{工}$)很小,工件圆角半径在弯曲时自然形成,调节凸模下止点位置,可以得到不同的弯曲角度及曲率半径。模具通用性强。这种弯曲变形程度较小,弹性回跳量大,故质量不易控制 适用于精度要求不高的大中型工件的小批量生产

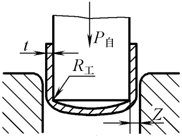
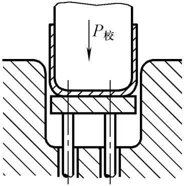
（续）

方法	工序简图	适用范围
压弯	V 形接触弯曲  t—工件厚度　1—凹模 2—凸模　3—工件　4—强力橡皮　5—床面	凸模角度等于或稍小于(2°～3°)凹模角度,弯曲时凸模到下止点位置时应使弯曲件的弯曲角度 α 刚好与凹模的角度吻合,此时工件圆角半径等于自由弯曲半径。由于材料力学性能不稳定,厚度会有偏差,故工件精度不太高(介于自由弯曲和校正弯曲之间),但弯曲力比校正弯曲小,模具寿命长(图 a) 此法主要适用于厚度宽度都较大的弯曲件,如图 b 所示。用衬有强力橡皮的弯曲模,可以减少薄板弯曲时由于厚度不均等引起的弯曲角度误差

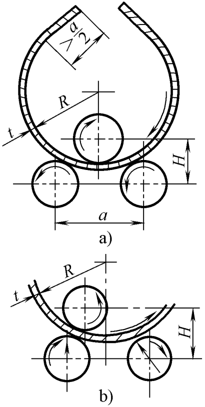
（续）

方法	工序简图	适用范围
压弯	V 形校正弯曲  $P_{校}=p_{校}F \quad F=lB$ B—料宽　F—工件受压部分投影面积	凸模在下止点时与工件、凹模全部接触，并施加很大的压力使材料内部应力增加，提高塑性变形程度，因而提高了弯曲精度。由于校正压力很大，故适用于厚度及宽度较小的工件。为了避免压力机下止点位置不准引起的机床超载损坏，不宜使用曲柄压力机。$p_{校}=80\sim120\text{MPa}$（详细数据参见有关资料）

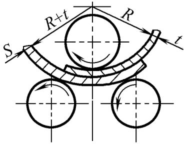
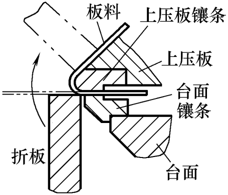
（续）

方法	工序简图	适用范围
压弯	U 形件弯曲  a)  b)	图 a 所示 U 形件弯曲模,属于自由弯曲。底部呈弓形,弯曲结束,弓形部分回弹,U 形件两侧便张开。弯曲件精度低,模具结构简单,冲压力小 图 b 所示 U 形件弯曲模,属于校正弯曲。顶板在开始弯曲时对材料底部有一压力,避免弓形产生,保证了冲压后的质量 U 形件弯曲模凸凹模之间的间隙 Z 太大会引起过大的回弹量,而过小则会使材料表面擦伤,并增加弯曲力,取 $Z \approx 1.05 \sim 1.2t$

（续）

方法	工序简图	适用范围
滚弯		板材置于一组（一般为三支）旋转着的辊轴之间，由于滚轴对板材的压力和摩擦力，使板材在辊轴间通过，在通过的同时又产生了弯曲变形 滚弯属于自由弯曲，因此回弹较大，一次辊压难以达到精度，但可多次滚压，并调节 H 使工件弯曲半径达到一定精度。特点是不需要特殊的工具和模具，通用性大，对称型三辊轴滚圆机使用时，工件二端有 $a/2$ 长的一段未受到弯曲（图 a），因此必须在滚弯前先用压弯法将两端压出圆弧形

（续）

方法	工序简图	适用范围
滚弯	 c)	不对称三辊卷板机可以使直线部分减至最小,但弯曲力要大得多,且不能在一次滚压中将两端都滚弯(图 b)。厚度较薄及圆筒直径较大时,可将板料端部垫上已有一定曲率半径圆弧的厚垫板一起滚压,使其两端先滚出圆弧(图 c)
折弯		折弯是在折板机上进行的,主要用于长度较长、弯曲角较小的薄板件,控制折板的旋转角度及调换上压板的头部镶块,可以弯曲不同角度及不同弯曲半径的零件

3）常用板材最小弯曲半径见表9-59。

表9-59　常用板材最小弯曲半径

（单位：mm）

材料	低碳钢	硬铝 2A12	铝	纯铜	黄铜
材料厚度	最小弯曲半径				
0.3	0.5	1.0	0.5	0.3	0.4
0.4	0.5	1.5	0.5	0.4	0.5
0.5	0.6	1.5	0.5	0.5	0.5
0.6	0.8	1.8	0.6	0.6	0.6
0.8	1.0	2.4	1.0	0.8	0.8
1.0	1.2	3.0	1.0	1.0	1.0
1.2	1.5	3.6	1.2	1.2	1.2
1.5	1.8	4.5	1.5	1.5	1.5
2.0	2.5	6.5	2.0	1.5	2.0
2.5	3.5	9.0	2.5	2.0	2.5
3.0	5.5	11.0	3.0	2.5	3.5
4.0	9.0	16.0	4.0	3.5	4.5
5.0	13.0	19.5	5.5	4.0	5.5
6.0	15.5	22.0	6.5	5.0	6.5

（2）角钢弯形

1）角钢做角度弯形。角钢角度弯形有三种（图9-56）。大于90°的弯曲程度较小；等于90°的弯曲程度中等；小于90°的弯曲程度大。

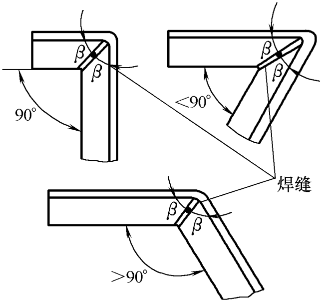


图 9-56　角钢角度弯形的形式

弯形步骤：

① 计算锯切角 α 大小。

② 划线锯切 α 角槽，锯切时应保证 $\alpha/2$ 角的对称。两边要平整，必要时可以锉平。V 尖角处要清根，以免弯做完了合不严实（图 9-57a）。

③ 弯形，一般可夹在台虎钳上进行；边弯曲边锤打弯曲处（图 9-57b）。α 角越小，弯形中锤打越要密些，力大点。对退火、正火处理的角钢弯形过程可适当快些，未做过处理的角钢，弯曲中要密打弯曲处，以防裂纹。

2）角钢做弯圆。角钢的弯圆分为角钢边向里弯圆和向外弯圆两种。一般需要一个与弯圆圆弧一致的弯形工具配合弯形，必要时也可采用局部加热弯形。

① 角钢边向里弯圆（图 9-58）。

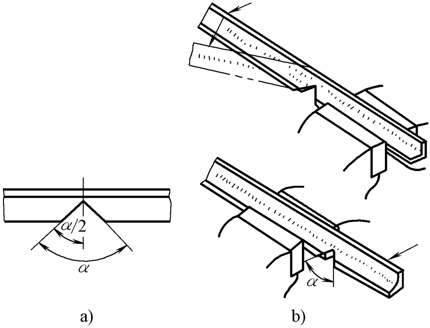


图 9-57　角钢做角度弯形的方法

a. 将角钢 a 处与型胎工具夹紧。

b. 敲打 b 处使之贴靠型胎工具，并将其夹紧。

c. 均匀敲打 c 处，使 c 处平整。

② 角钢边向外弯圆（图 9-59）。

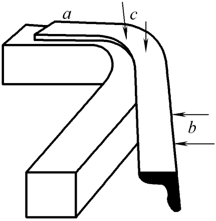


图 9-58　角钢边向里弯圆的方法

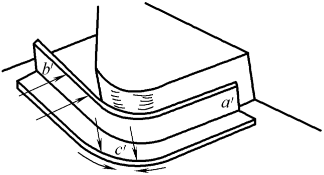


图 9-59　角钢边向外弯圆的方法

a. 将角钢 a'处与型胎工具夹紧。

b. 敲打 b'处使之贴靠型胎工具，并将其夹紧。

c. 均匀敲打 c'处，防止 c'翘起，使 c'处平整。

（3）管子弯形

管子弯形分冷弯与热弯两种。直径在 12mm 以下的管子可采用冷弯方法，而直径在 12mm 以上的管子则采用热弯。但弯管的最小弯曲半径，必须大于管子直径的 4 倍。

管子直径大于 10mm 时，在弯形前，必须在管内灌满填充材料（表 9-60），两端用木塞塞紧（图 9-60）。对于有焊缝的管子，弯形时需将焊缝放在中性层的位置上（图 9-61），以免弯形时焊缝裂开。

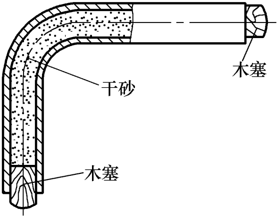


图 9-60　管内灌砂及两端塞上木塞

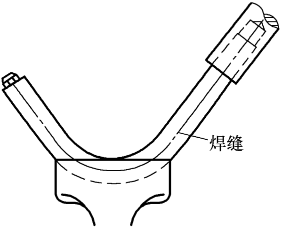


图 9-61　管子弯形时焊缝位置

1）用手工冷弯管子。

①　对直径较小的铜管手工弯形时，应将铜管退火后，用手边弯形边整形，修整弯形产生的扁圆形状，使弯形圆弧光滑圆整（图 9-62）。切记不可一下子弯形很

大的弯曲度，这样不易修整产生的变形。

② 钢管弯形（图 9-63）首先应将管子装砂，封堵；并根据弯曲半径先固定定位柱，然后再固定别挡。

表 9-60　弯曲管子时管内填充材料的选择

管子材料	管内填充材料	弯曲管子条件
钢管	普通黄砂	将黄砂充分烘炒干燥后，填入管内，热弯或冷弯
一般纯铜管、黄铜管	铅或松香	将铜管退火后，再填充冷弯。应注意：铅在热熔时，要严防滴水，以免溅伤
薄壁纯铜管、黄铜管	水	将铜管退火后灌水冰冻冷弯
塑料管	细黄砂（也可不填充）	温热软化后迅速弯曲

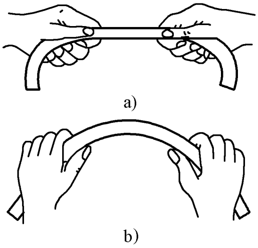


图 9-62　手工冷弯小直径铜管

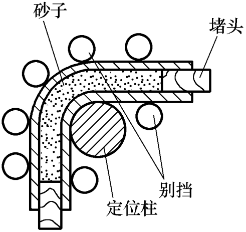


图 9-63　钢管弯形

弯形时逐步弯曲，将管子一个别挡一个别挡地别进来，用铜锤锤打弯曲高处，也要锤打弯曲的侧面，以纠正弯形时产生的扁圆形状。

热弯直径较大的管子时，可在管子弯曲处加热后，采用这种方法。

2）用弯管工具冷弯管子。冷弯小直油管一般在弯管工具上进行（图 9-64）。弯管工具由底板、转盘、靠铁、钩子和手柄等组成。转盘圆周上和靠铁侧面上有圆弧槽，圆弧槽按所弯的油管直径而定（最大直径可达 12mm）。当转盘和靠铁位置固定后（两者均可转动，靠铁不可移动）即可使用。使用时，将油管插入转盘和靠铁的圆弧槽中，钩子钩住管子，按所需的弯曲位置，扳动手柄，使管子跟随手柄弯到所需角度。

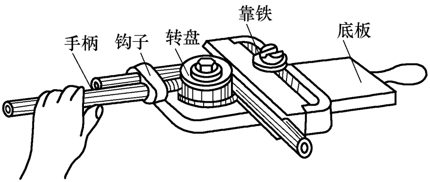


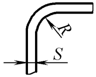
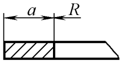
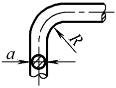
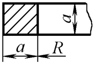
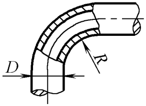
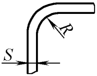
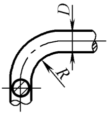
图 9-64　弯管工具

3）常用型材、管材最小弯形半径的计算公式见表 9-61。

4）铜、铝管最小弯形半径见表 9-62。

5）不锈钢管、不锈无缝钢管最小弯形半径见表 9-63。

表 9-61　常用型材、管材最小弯形半径的计算公式

碳钢板弯曲		热	$R_{min}=S$
		冷	$R_{min}=2.5S$
扁钢弯曲		热	$R_{min}=3a$
		冷	$R_{min}=12a$
圆钢弯曲		热	$R_{min}=a$
		冷	$R_{min}=2.5a$
方钢弯曲		热	$R_{min}=a$
		冷	$R_{min}=2.5a$
无缝钢管弯曲		热	$D>20\quad R\approx 2D$
		冷	$D>20\quad R\approx 3D$
不锈钢钢板弯曲		热	$R_{min}=S$
		冷	$R_{min}=(2\sim2.5)S$
不锈钢圆钢弯曲		热	$R_{min}=D$
		冷	$R_{min}=(2\sim2.5)D$

（续）

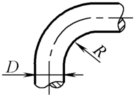
<table>
<tr><td rowspan="3">不锈耐酸钢钢管弯曲</td><td rowspan="3"></td><td>充砂加热</td><td>$R_{min}=3.5D$</td></tr>
<tr><td>气焊嘴加热</td><td>弯曲一侧有折纹
$R_{min}=2.5D$</td></tr>
<tr><td>不充砂冷弯</td><td>专门弯管机上弯曲
$R_{min}=4D$</td></tr>
</table>

表 9-62　铜、铝管最小弯形半径 R_{min}

（单位：mm）

纯铜管与黄铜管			铝　材　管		
d	R_{min}	壁厚	d	R_{min}	壁厚
5.0	10	1.0	—	—	—
6.0	10	1.0	6.0	10	1.0
7.0	15	1.0	—	—	—
8.0	15	1.0	8.0	15	1.0
10	15	1.0	10	15	1.0
12	20	1.0	12	20	1.0
14	20	1.0	14	20	1.0
15	30	1.0	—	—	—
16	30	1.5	16	30	1.5
18	30	1.5	—	—	—
20	30	1.5	20	30	1.5
24	40	1.5	—	—	—
25	40	1.5	25	50	1.5

（续）

纯铜管与黄铜管			铝　材　管		
d	R_{min}	壁厚	d	R_{min}	壁厚
28	50	1.5	30	60	1.5
35	60	1.5	40	80	1.5
45	80	1.5	50	100	2.0
55	100	2.0	60	125	2.0

注：一件上有几个弯曲处，如两个、三个弯曲处等，均应不小于 R_{min}。

表 9-63　不锈钢管、不锈无缝钢管最小弯形半径 R_{min}

（单位：mm）

不锈无缝钢管			不锈钢管		
d	R_{min}	壁厚	d	R_{min}	壁厚
6.0	15	1.0	—	—	—
8.0	15	1.0	—	—	—
10	20	1.5	—	—	—
12	25	1.5	—	—	—
14	30	1.5	14	18	2.0
16	30	1.5	—	—	—
18	40	1.5	18	28	2.0
20	40	1.5	—	—	—
22	60	1.5	（22）	50	2.0
25	60	3.0	25	50	2.0
32	80	3.0	32	60	2.5
38	80	3.0	38	70	2.5
41	100	3.0	45	90	2.5
57	180	4.0	57	110	2.5
76	220	4.0	（76）	225	3.5

（续）

不锈无缝钢管			不锈钢管		
d	R_{min}	壁厚	d	R_{min}	壁厚
89	270	4. 0	89	250	4. 0
102	—	—	102	—	—
108	340	6. 0	（108）	360	4. 0
133	420	6. 0	133	400	4. 0

注：一件上有几个弯曲处,如两个、三个等,均应不小于 R_{min}。

6）无缝钢管最小弯形半径见表 9-64。

表 9-64　无缝钢管最小弯形半径 R_{min}

（单位：mm）

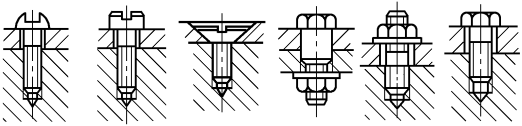
d	R_{min}	壁厚	d	R_{min}	壁厚
6. 0	15	1. 0	44. 5	100	3. 0
8. 0	15	1. 0	45	90	3. 5
10	20	1. 5	57	110	3. 5
12	25	1. 5	57	150	4. 0
14	30	1. 5	76	180	4. 0
14	18	3. 0	89	220	4. 0
16	30	1. 5	102		
18	40	1. 5	108	270	4. 0
18	28	3. 0	133	340	4. 0
20	40	1. 5	159	450	4. 5
22	50	3. 0	159	420	6. 0
25	50	3. 0	194	500	6. 0
32	60	3. 0	219	500	6. 0
32	60	3. 5	245	600	6. 0
38	80	3. 0	273	700	8. 0
38	70	3. 5	325	800	8. 0

六、典型部件装配方法举例

1. 螺纹连接

（1）螺钉（螺栓）连接的几种形式（表9-65）

表9-65　螺钉（螺栓）连接的几种形式



a)　b)　c)　d)　e)　f)

图号	名　　称	特　　点
a	半圆头螺钉连接	多为小尺寸螺钉，螺钉头上有一字形或十字形槽，便于用旋具装卸。适用受力不大及一些轻小零件的连接。一般不用螺母，直接用螺钉拧入工件螺纹孔中。这类螺钉还有半沉头螺钉
b	圆柱头螺钉连接	
c	沉头螺钉连接	

（续）

图号	名　　称	特　　点
d	小六角头铰制孔用螺栓连接	螺栓杆部与工件通孔配合良好,起紧固与定位作用,能承受侧向力,一般用于不必打销钉而又有定位要求的连接
e	双头螺栓连接	装配时一端拧入固定零件的螺纹孔中,再把被连接件用螺母夹紧。这种连接,适用于被连接件厚度较大或经常需要拆卸的地方
f	六角头螺栓连接	使用时不需螺母,通过零件的孔,拧入另一零件的螺纹孔中。使用于不经常拆卸的地方。螺钉头还有小六角、内六角和方形等

注：螺钉头类型较多，如 T 形螺钉、地脚螺钉和不同端部形式与头部形式的紧定螺钉等。

（2）螺纹连接的装配要求

1）螺栓不应有歪斜或弯曲现象，螺母应与被连接件接触良好。

2）被连接件平面要有一定的紧固力，受力均匀，连接牢固。

3）拧紧力矩或预紧力的大小要根据装配要求确定，一般紧固螺纹连接无预紧力要求，可由装配者按经验控制。一般预紧力要求不严的紧固螺纹拧紧力矩值可参照表 9-66。

表 9-66　一般螺纹拧紧力矩

螺纹直径 d/mm	螺纹强度级别			
	4. 6	5. 6	6. 8	10. 9
	许用拧紧力矩/N · m			
6	3. 5	4. 6	5. 2	11. 6
8	8. 4	11. 2	12. 6	28. 1
10	16. 7	22. 3	25	56
12	29	39	44	97
14	46	62	70	150
16	72	96	109	240
18	110	133	149	330
20	140	188	212	470
22	190	256	290	640
24	240	325	366	810
27	360	480	540	1190
30	480	650	730	1620

（续）

螺纹直径 d/mm	螺纹强度级别			
	4.6	5.6	6.8	10.9
	许用拧紧力矩/N·m			
36	850	1130	1270	2820
42	1350	1810	2030	4520
48	2030	2710	3050	6770

注：螺栓强度级别见 GB/T3098.1—2000。

涂密封胶的螺塞可参照表 9-67 所列拧紧力矩值。

表 9-67　涂密封胶的螺塞拧紧力矩

螺纹直径 d/in	拧紧力矩 /N·m	螺纹直径 d/in	拧紧力矩 /N·m
3/8	15 ±2	3/4	26 ±4
1/2	23 ±3	1	45 ±4

注：1in =25.4mm。

4）在多点螺纹连接中，应根据被连接件的形状和螺栓的分布情况，按一定顺序逐次（一般 2 ~ 3 次）拧紧螺母（图 9-65）。如有定位销，拧紧要从定位销附近开始。

（3）有规定预紧力的螺纹连接的装配方法

1）力矩控制法。用定力矩扳手（手动、电动、气动、液压）控制，即拧紧螺母达到一定拧紧力矩后，可指示出拧紧力矩的数值或到达预先设定的拧紧力矩时，

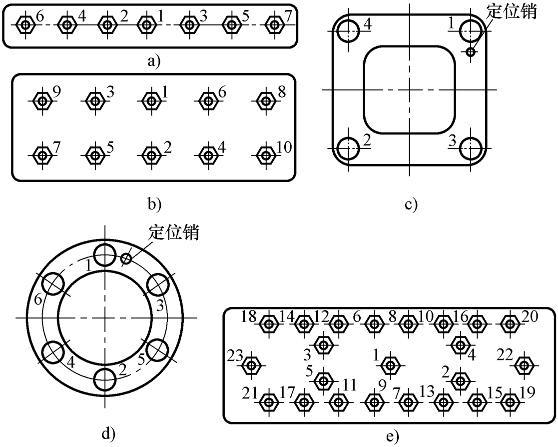


图 9-65　螺纹连接拧紧顺序

a）直线单排形　b）平行双排形

c）方框形　d）圆环形　e）多孔形

会发出信号或自行终止拧紧。图 9-66 为手动指针式扭力扳手，在工作时，扳手杆 5 和刻度板一起向旋转的方向弯曲，因此指针尖 6 就在刻度板上指出拧紧力矩的大小。

力矩控制法的缺点是接触面的摩擦系数及材料的弹性系数对力矩值有较大影响，误差大。优点是使用方便，力矩值便于校验。

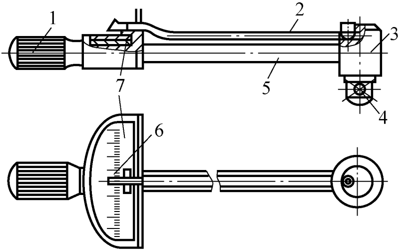


图 9-66　指针式扭力扳手

1—手柄　2—长指针　3—柱体　4—钢球
5—扳手杆　6—指针尖　7—刻度板

2）力矩—转角控制法。先将螺母拧至一定起始力矩（消除结合面间隙），再将螺母转过一固定角度后，扳手停转。由于起始拧紧力矩值小，摩擦系数对其影响也较小。因此，拧紧力矩值的精度较高。但在拧紧时必须计量力矩和转角两个参数，而且参数需要事先进行试验和分析确定。

3）控制螺栓伸长法（液压拉伸法）。如图 9-67 所示，螺母拧紧前，螺栓的原始长度为 L_1，按规定的拧紧力矩拧紧后，螺栓的长度为 L_2，测定 L_1 和 L_2，根据螺栓的伸长量，可以确定拧紧力矩是否准确。

这种方法常用于大型螺栓，螺栓材料一般采用中碳钢或合金钢。用液压拉伸器使螺栓达到规定的伸长量，以控制预紧力，螺栓不承受附加力矩，误差较小。

（4）螺纹连接的防松方法

螺纹连接一般都有自锁性，在静载荷和工作温度变化不大时，不会自行松脱。但在冲击、振动或变载荷作用下，以及工作温度变化很大时，螺纹连接就有可能回松。为了保证连接可靠，必须采用防松方法。

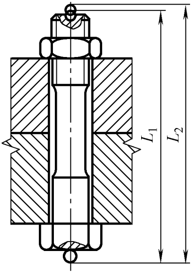


图 9-67　测量螺栓伸长量

常用的螺纹防松装置有以下几种（表 9-68）。

2. 键连接

键是用来连接轴和轴上零件的一种标准零件，主要用于周向固定以传递转矩。它具有结构简单、工作可靠和装拆方便等优点，因此在机械连接中应用广泛。根据结构特点和用途不同，可分为松键连接、紧键连接和花键连接三种。

（1）松键连接装配

松键连接所采用的键有普通平键、导向平键和半圆键三种（图 9-68、图 9-69、图 9-70）。其特点是靠键的侧面来传递转矩，只能对轴上零件做周向固定，不能承受轴向力。松键连接的对中性好，在高速及精密的连接中应用较多。

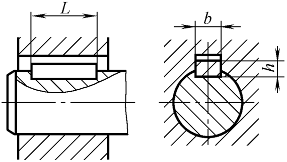
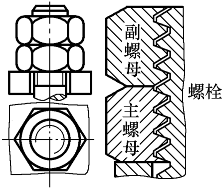
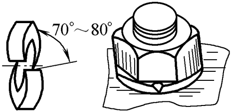
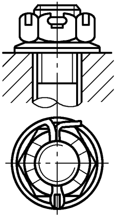
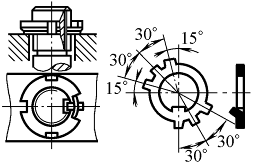


图 9-68　普通平键连接

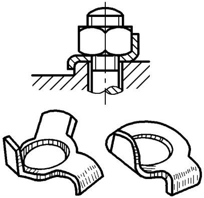
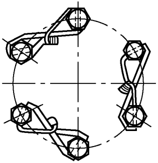
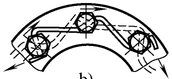
表 9-68　常用的螺纹防松方法

防松方法	简　　图	说　　明
双螺母防松		依靠两螺母间产生的摩擦力来防松。这种方法会增加被连接件的重量和占用空间，在高速和振动时使用不够可靠
弹簧垫圈防松		依靠垫圈的弹力使螺母稍许偏斜，增加了螺纹之间的摩擦力，并且垫圈的尖角切入螺母的支撑面，阻止螺母放松

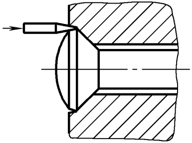
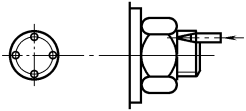
（续）

防松方法	简　　图	说　　明
开口销与带槽螺母的防松		在螺栓上钻孔，穿入开口销，把螺母直接锁紧在螺栓上，这种方法防松可靠。多用于受冲击、振动的地方
圆螺母与止动垫圈防松		应用于圆螺母的防松。垫圈内翅插入螺杆槽中，圆螺母拧紧后，再把一个外翅弯到圆螺母的一个槽中。这种方式多用于滚动轴承结构

（续）

防松方法	简　　图	说　　明
六角螺母与带耳止动垫圈防松		先将垫圈一耳边向下弯折，使之与被连接件的一边贴紧，当拧紧螺母后，再将垫圈的另一耳边向上弯折，与螺母的边缘贴紧而起到防松作用
串联钢丝防松	 a)  b)	这种方法是用钢丝连续穿过一组螺钉头部的小孔（或螺母），利用拉紧的钢丝的作用来防止回松。它适用于布置较紧凑的成组螺纹连接。装配时应注意钢丝的穿绕方向。图中虚线所示的钢丝穿绕方向是错误的，螺钉仍可回松

(续)

防松方法	简　　图	说　　明
点铆方法防松	 a)  b)	装配时,当螺钉或螺母被拧紧后,用样冲在端面和侧面点铆的方法,可防止回松。图 a 是在螺钉上点铆,图 b 是在螺母侧面点铆
粘接防松方法		一般采用厌氧胶粘剂,涂于螺纹旋合表面,拧紧后,胶粘剂能自行固化从而达到防松的效果

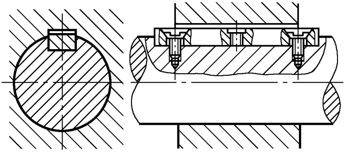


图 9-69　导向平键连接

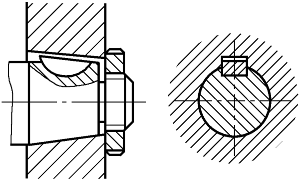


图 9-70　半圆键连接

普通平键和导向平键的一般连接，轴取 N9、毂取 JS9；较松的连接，轴取 H9，毂取 D10；较紧的连接，轴和毂均取 P9。半圆键一般连接，轴取 N9，毂取 JS9；较紧的连接轴和毂均取 P9。

松键连接装配要点：

1）必须清理键与键槽毛刺，以防影响配合的可靠性。

2）对重要的键在装配前应检查键侧直线度、键槽对轴线的对称度。

3）用键头与轴槽试配，应保证其配合性质。锉配键长和键头时，应留 0.1mm 间隙。

4）配合面上加全损耗系统用油后将键压装到轴槽中，使键与槽底接触。

（2）紧键连接装配

紧键连接主要指楔键连接。楔键连接分为普通楔键

和钩头楔键两种。在键的上表面和与它相接触的轮毂槽底面，均有 1∶100 的斜度，键侧与键槽间有一定的间隙。装配时将键打入，形成紧键连接，传递转矩和承受单向轴向力。紧键连接的对中性较差，故多用于对中性要求不高及转速较低的场合。

图 9-71 是普通的楔键连接形式；图 9-72 是钩头楔键连接形式。

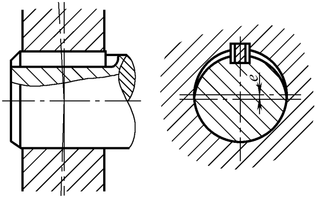


图 9-71　普通楔键连接

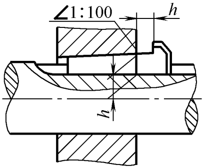


图 9-72　钩头楔键连接

紧键连接装配要点：

1）键的斜度要与轮毂槽的斜度一致（装配时应用涂色检查斜面接触情况），否则套件会发生歪斜。

2）键的上下工作表面与轴槽、轮槽的底部应贴紧，而两侧面要留有一定间隙。

3）对于钩头楔键，不能使钩头紧贴套件的端面，必须留出一定的距离，以便拆卸。

（3）花键连接装配

花键轴的种类较多，按齿廓的形状可分为矩形齿、梯形齿、渐开线齿和三角形齿等。

花键的定心方法有三种（表 3-39），矩形齿花键轴

由于加工方便，强度较高，而且易于对正，所以应用较广。

花键连接按工作方式不同，可分为静连接和动连接两种。其连接装配要点：

1）静连接花键装配时，花键孔与花键轴允许有少量过盈，装配时可用铜棒轻轻敲入，但不得过紧，否则会拉伤配合表面。过盈较大的配合，可将套件加热至 80 ~120°C 后进行装配。

2）动连接花键装配时，花键孔在花键轴上应滑动自如，没有阻滞现象，但不能过松。应保证精确的间隙配合。

3. 销连接

销主要用于定位(图 9-73),也可用于零件连接(图 9-74),还可作为安全装置中的过载保险元件(图 9-75)。

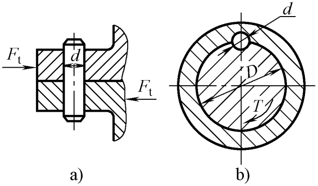


图 9-73　定位作用销

F_t—横向力（N）

（1）圆柱销连接装配要点

1）圆柱销与销孔的配合全靠少量的过盈，以保证连接或定位的紧固性和准确性。故一经拆卸失去过盈就必须调换。

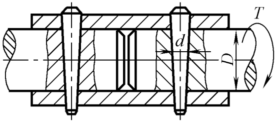


图 9-74　连接作用销

T—转矩（N · mm）

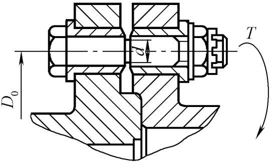


图 9-75　保险作用销

D_0—安全销中心圆直径

T—转矩（N · mm）

2）圆柱销装配时，为保证两销孔的中心重合，一般都将两销孔同时进行钻铰，其表面粗糙度值要求为 $Ra1.6\mu m$ 或更小。

3）装配时在销子上涂油，用铜棒垫在销子端面上，把销子打入孔中。也可用 C 形夹头把销子压入孔内（图 9-76），压入法销子不会变形，工件间不会移动。

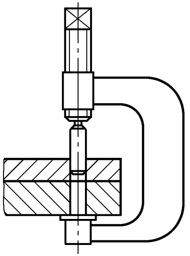


图 9-76　用 C 形夹头装配销子

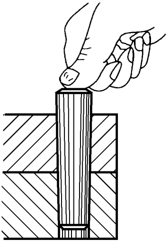


图 9-77　试装圆锥销的方法

（2）圆锥销连接装配

1）圆锥销以小端直径和长度表示其规格。

2）装配时，被连接或定位的两销孔也应同时钻铰，但必须控制好孔径大小。一般用试装法测定，即能用手将圆锥销塞入孔内80%左右（图9-77）为宜。

3）销子装配时用铜锤打入。锥销的大端可稍露出或平于被连接件表面。锥销的小端应平于或缩进被连接件表面。

4. 过盈连接

过盈连接是依靠包容件（孔）和被包容件（轴）配合后的过盈值，来达到紧固连接的目的。

过盈连接装配后，由于材料的弹性，在包容件和被包容件结合面间产生压力和摩擦力来传递扭矩、轴向力或两者复合载荷（图9-78）。这种连接的结构简单，同轴度高，承载能力大，并能承受冲击载荷。但对结合面加工精度要求较高，装配不便。

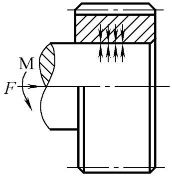


图9-78 过盈连接

过盈连接的结合面多为圆柱面，也有圆锥结合面。连接的方法有压入装配、温差装配，以及具有可拆性的液压套装。在连接过程中，包容件与被包容件要清洁，相对位置要准确，实际过盈量必须符合要求。

（1）压入法

圆柱面过盈连接的过盈量或尺寸较小时，一般用压入法装配。

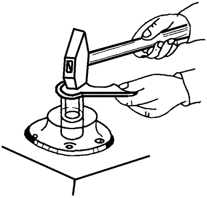
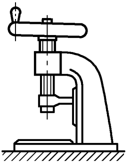
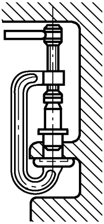
1）压入法的装配工艺要点及应用范围见表9-69。

表 9-69　压入法的装配工艺要点及应用范围

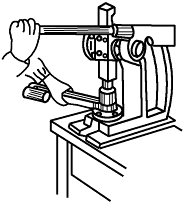
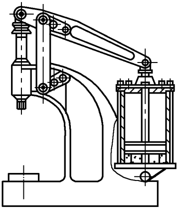
<table>
<tr><th>装配方法</th><th>设备和工具</th><th>装配工艺要点</th><th>特　　点</th><th>应用范围</th></tr>
<tr><td>敲击压入</td><td>手锤或重物敲击</td><td rowspan="3">1）压入过程应保持连续，不宜太快。压入速度常用 2～4mm/s，不宜超过 10mm/s，并需准确控制压入行程
2）薄壁或配合面较长的联接件，最好垂直压入，以防变形
3）对于细长的薄壁件，应特别注意检查其过盈量和形位偏差
4）配合面应涂润滑油
5）压入配合后，被包容件的内孔有一定收缩。如果内孔尺寸有严格要求，可预先加大或装配后重新加工</td><td>简便，但导向性不易控制，易出现歪斜</td><td>适用于配合要求低、长度短的零件装配，如销、短轴等。多用于单件生产</td></tr>
<tr><td>工具压入</td><td>螺旋式、杠杆式、气动式压入工具</td><td>导向性比冲击压入好，生产率较高</td><td>适用于小尺寸联接件的装配，如套筒和一般要求的滚动轴承等。多用于中小批生产</td></tr>
<tr><td>压力机压入</td><td>齿条式、螺旋式、杠杆式气动压力机或液压机</td><td>压力范围：（1～1000）×10kN（1～1000tf）。配合夹具使用，可提高导正性</td><td>适用于轻、中型静配合的连接件，如齿圈、轮毂等。成批生产中广泛采用</td></tr>
</table>

2）压入法常用工具及设备举例见表9-70。

表9-70　压入法常用工具及设备举例

工具及设备	图　　示
用锤子敲击压入	
螺旋压力机	
专用螺旋的C形夹头	

（续）

工具及设备	图　　示
齿条压力机	
气动杠杆压力机	

（2）温差法

采用温差法装配时，可加热胀大包容件或冷却收缩被包容件，也可同时加热包容件和冷却被包容件，以形成装配间隙。由于这个装配间隙可使零件配合面保持原来状态，而且配合面的粗糙度不影响其结合强度，因此连接的承载能力比用压入法装配大。

温差法的装配工艺要点及应用范围见表9-71。

表 9-71　温差法的装配工艺要点及应用范围

<table>
<tr><th colspan="2">装配方法</th><th>设备和工具</th><th>装配工艺要点</th><th>特　　点</th><th>应用范围</th></tr>
<tr><td rowspan="2">热胀法</td><td>火焰加热</td><td>喷灯、氧乙炔、丙烷加热器、炭炉</td><td rowspan="2">1）包容件因加热而胀大，使过盈量消失，并有一定间隙。根据具体条件，选取合适的装配间隙。一般取 0.001 ~0.002d（d 为配合直径）。包容件重量轻，旋合长度短，配合直径大，操作比较熟练，可选小些；反之，则应选大些
2）采用热胀法时，实际尺寸不易测量，可按下列公式计算温度来控制。装配时间要短，以防因温度变化而使间隙消失，出现“咬死”现象。工件加热温度计算式：
$$t=\frac{\delta+\Delta}{\alpha d}+t_0$$</td><td>加热温度 < 350 °C。使用加热器，热量集中，易于控制，操作简便</td><td>适用于局部加热中等或大型连接件</td></tr>
<tr><td>介质加热</td><td>沸水槽、蒸汽加热槽、热油槽</td><td>沸水槽加热温度 80 ~ 100° C，蒸汽槽可达 120° C，热油槽 90 ~ 320° C，均可使连接件去污干净，热胀均匀</td><td>适用于过盈量较小的连接件，如滚动轴承、连杆衬套等</td></tr>
</table>

（续）

装配方法		设备和工具	装配工艺要点	特　　点	应用范围
热胀法	电阻和辐射加热	电阻炉、红外线辐射加热箱	式中　t——工件加热温度（°C）； δ——实际过盈量（mm）； Δ——热配合间隙（0.001～0.002mm）； t_0——环境温度（°C）； α——包容件线胀系数（1/°C）； d——包容件孔径（mm） 3）用热油槽加热时，加热温度应比所用油的闪点低20～30°C。加热一般结构钢时，不应高于400°C，加热和温升应均匀 4）较大尺寸的包容件经热胀配合，其轴向尺寸均有收缩。收缩量与包容件的轴向厚度和配合面过盈量有关	加热温度可达400°C以上，热胀均匀，表面洁净，加热温度易自动控制	适用于中、小型连接件成批生产
	感应加热	感应加热器		加热温度可达400°C以上，加热时间短，调节温度方便，热效率高	适用于采用特重型和重型静配合的中、大型连接件

(续)

装配方法		设备和工具	装配工艺要点	特点	应用范围
冷缩法	干冰冷缩	干冰冷缩装置(或以酒精、丙酮、汽油为介质)	1)被包容件冷缩时的实际尺寸不易测量,一般按冷缩温度控制冷缩量 2)冷却至液氮温度时,一般不需测量。当冷缩装置中液氮表面层无明显的翻腾蒸发现象时,被包容件即已冷却至接近液氮温度 3)小型被包容件浸入液氮冷却时,冷却时间约15min,套装时间应很短,以保证装配间隙消失前套装完毕 4)需防止冻伤	可冷至 −78°C,操作简便	适用于过盈量小的小型连接件和薄壁衬套等
	低温箱冷缩	各种类型的低温箱		可冷至 −40 ~ −140°C,冷缩均匀,表面洁净,冷缩温度易自动控制,生产率高	适用于配合面精度较高的连接件,以及在热态下工作的薄壁套筒件
	液氮冷缩	移动或固定式液氮槽		可冷至 −195°C,冷缩时间短,生产率高	适用于过盈量较大的连接件

（3）圆锥面过盈连接装配方法

圆锥面过盈连接，是利用轴和孔产生相对轴向位移互相压紧而达到过盈连接的目的。它的特点是压合距离短、装拆方便，装拆时配合面不易擦伤，可用于多次装拆的场合，但配合表面加工困难。常用的装配方法有两种：

1）用螺母压紧圆锥面的过盈连接。这种连接（图9-79）拧紧螺母可使结合面压紧形成过盈结合，多用于轴端连接。结合面的锥度小时，所需轴向力小，但不易拆卸；锥度大时拆卸方便，但所需轴向力大。通常锥度可取（1∶30）～（1∶8）。

2）液压装拆圆锥面过盈连接。这种方法是利用高压油装配，装配时用高压油泵将油由包容件（图9-80a）或被包容件（图9-80b）上的油孔和油槽压入结合面间，使包容件内径涨大，被包容件外径缩小；同时，施加一定的轴向力，使孔轴相互压紧。当压紧到预定的轴向位置后，排出高压油，即可形成过盈结合。

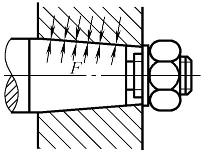


图9-79　螺母压紧的过盈连接

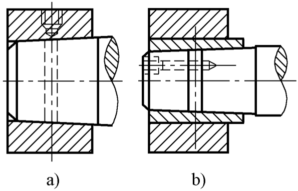


图9-80　液压装拆的圆锥面的过盈连接

同样，这种连接也可利用高压油拆卸。

液压套装工艺要求严格，配合面的接触要均匀，面积应大于 80%。装配工艺要点及应用范围见表 9-72。

表 9-72　液压装拆法的工艺要点及应用范围

设备和工具	装配工艺要点	特　　点	应用范围
高压油泵、增压器等液压附件	1）对圆锥面连接件，应严格控制压入行程 2）开始压入时，速度应很小 3）到行程后，先消除径向油压，后去轴向油压 4）拆卸时，油压比套装时低 5）套装时，配合面干净，并涂轻质润滑油	油压常达 150 ~ 200MPa，操作工艺要求严格。套装后，可以拆卸	适于过盈量较大的大、中型连接件，尤其是定位要求严格的零件

5. 滑动轴承的装配

当轴承和轴颈相对运动时，它们的接触面产生滑动摩擦，这种轴承称为滑动轴承。其主要特点是运转平稳、无噪声、润滑油膜具有吸振能力，所以能承受较大的冲击载荷。

（1）滑动轴承的分类

按滑动轴承润滑的形式分：

1）动压滑动轴承。利用润滑油的粘性和轴颈的高

速旋转，把润滑油带进轴承的楔形空间建立起压力油膜，使轴颈与轴承被油膜隔开。这种轴承称为动压滑动轴承（图 9-81）。

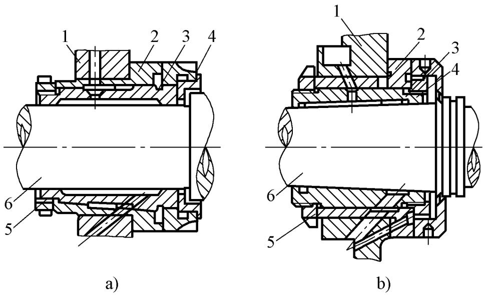


图 9-81　径向动压滑动轴承

a）内柱外锥式　b）外柱内锥式

1—箱体　2—主轴承外套　3—主轴承

4、5—螺母　6—主轴

2）静压滑动轴承。静压润滑是利用外界的油压系统供给一定压力的润滑油，使轴颈与轴承处于完全液体摩擦状态，油膜的形成和压力大小与轴的转速无关，所以能保证轴承在不同的工作状态下获得稳定的液体润滑。这种轴承称为静压滑动轴承。如图 9-82 所示，在轴瓦的内圆表面上，开有 4 个对称均布的油腔，油腔与油腔之间开有回油槽，回油槽与油腔间有封油面。来自油泵的、具有一定压力的油液，经过节流器后进入轴承

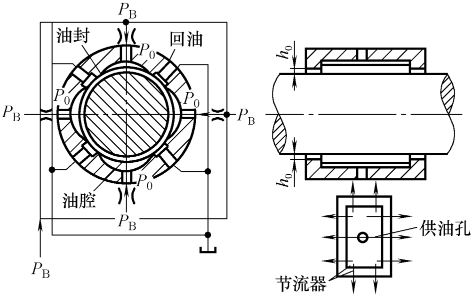


图 9-82　静压滑动轴承

的油腔，再流经封油面与轴颈间隙回到油池（节流器指对流液有一定阻力的通道）。

按滑动轴承的结构分：

1）整体式滑动轴承。整体式滑动轴承是在机架上或轴承座上，镶入整体轴瓦后加工而成（图 9-83）。其结构简单，但工作面磨损后无法调整间隙，必须重新更换新的轴瓦。

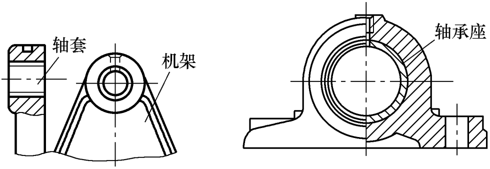


图 9-83　整体式滑动轴承

2）剖分式滑动轴承。其结构如图 9-84 所示，由轴

承座、轴承盖、两个对开轴瓦、垫片及双头螺栓组成。

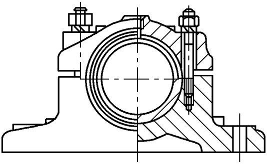


图 9-84　剖分式滑动轴承

3）锥形表面滑动轴承。其结构有：内柱外锥式（图 9-81a）和外柱内锥式（图 9-81b）两种。

4）多瓦自动调位轴承（又称扇形瓦轴承）。其结构有三瓦式（图 9-85a）和五瓦式（图 9-85b）两种。

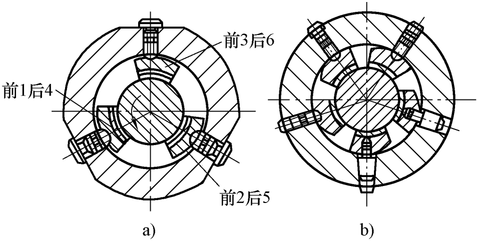


图 9-85　多瓦自动调位轴承

a）三瓦式　b）五瓦式

（2）滑动轴承的装配

对滑动轴承装配的要求，主要是轴颈与轴承孔之间获得所需要的间隙和良好的接触，使轴在轴承中运转平稳。

滑动轴承的装配方法取决于它们的结构形式。

1）整体式滑动轴承（又称轴套）的装配。

① 将加工合格的轴套和轴承孔除去毛刺，并擦洗干净，之后在轴套外径或轴承座孔内涂抹全损耗系统用油。

② 根据轴套的尺寸和配合的过盈大小选择压入方法，将轴套压入机体中。若尺寸或过盈量较大时，则宜用压力机压入或用拉紧夹具（图 9-86）把轴套压入机体中。压入时，应注意轴套上的油孔，应与机体上的油孔对准。

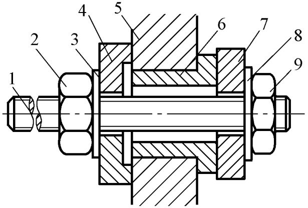


图 9-86　压轴套用拉紧工具

1—螺杆　2、9—螺母　3、8—垫圈
4、7—挡圈　5—机体　6—轴套

③ 在压入轴套之后，对要承受较大负荷的滑动轴

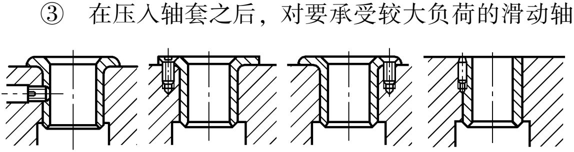


图 9-87　轴套的定位方式

承的轴套，还要用紧定螺钉或定位销固定，定位方式（见图 9-87）。

④ 压装后，要检查轴套内孔，若内孔缩小或变形，可用铰削或刮削等方法对轴套进行修整。

2）剖分式滑动轴承的装配。图 9-88 是剖分式滑动轴承未总装的零件图。

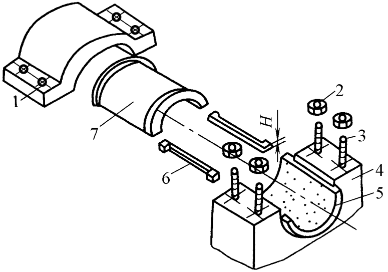


图 9-88 剖分式滑动轴承的零件组成

1—轴承盖 2—螺母 3—双头螺柱 4—轴承座

5—下轴瓦 6—垫片 7—上轴瓦

① 轴瓦与轴承座、轴承盖的装配。上下轴瓦与轴承座、轴承盖装配时，应使轴瓦背与座孔接触良好。如不符合要求，则对厚壁轴瓦以座孔为基准刮削轴瓦背部。对薄壁轴瓦则不修刮，需进行选配。为达到配合的要求，轴瓦的剖分面应比轴承体的剖分面高出一些，其值 $\Delta h=\pi\delta/4$（δ 为轴瓦与机体孔配合过盈量，一般 Δh 取 0. 05 ~0. 10mm，见图 9-89）。轴瓦装入时，在剖分面上应垫上木板，用锤子轻轻敲入，避免将剖分面敲毛，

影响装配质量。

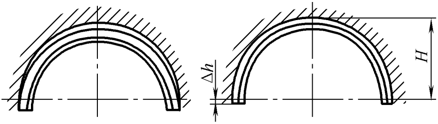


图 9-89　薄壁轴瓦的配合

②　轴瓦的定位。轴瓦安装在机体中，无论在圆周方向和轴向都不允许有位移。通常用定位销和轴瓦上的凸台来止动（图 9-90）。

③　轴瓦孔的配刮。用与轴瓦配合的轴来研点，通常先刮研下轴瓦再刮研上轴瓦。在刮研下轴瓦时可不装轴瓦盖，当下轴瓦接触点基本符合要求时，再将上轴瓦盖压紧，并拧上螺母，在修刮上轴瓦的同时进一步修正下轴瓦的接触点。配刮轴的松紧，可随着刮削次数，调整垫片尺寸。当螺母均匀紧固后，配刮轴能够轻松地转动，而且无明显间隙，接触点也符合要求时即可。

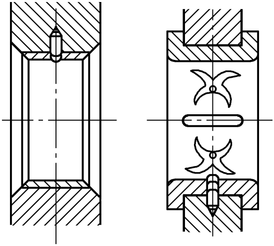


图 9-90　轴瓦的定位

6. 滚动轴承的装配

滚动轴承由外圈、内圈、滚动体和保持架 4 部分组成（图 9-91）。工作时滚动体在内、外圈的滚道上滚动，

形成滚动摩擦。它具有摩擦小、效率高、轴向尺寸小及装拆方便等优点。

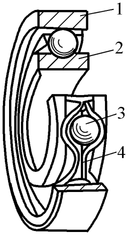


图 9-91　滚动轴承的构造

1—外圈　2—内圈　3—滚动体　4—保持架

(1) 滚动轴承的预紧和调整

1) 滚动轴承的游隙要求和测量。滚动轴承的游隙分为径向游隙和轴向游隙两类(图 9-92)。它们分别表示一个套圈固定时，另一个套圈沿径向或轴向由一个极限位置到另一个极限位置的移动量。两类游隙之间有密切关系，一般说来，径向游隙越大，则轴向游隙也越大；反之径向游隙越小，轴向游隙也越小。测量游隙的方法见图 9-93。

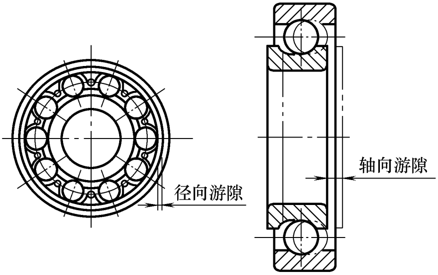
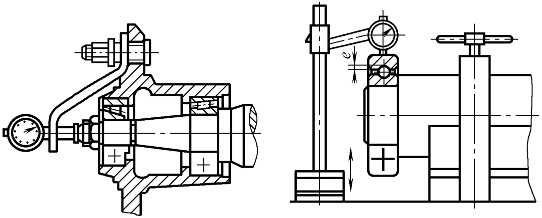


图 9-92　滚动轴承的游隙



a)　　　　　　　b)

图 9-93　轴承游隙的测量

a）轴向游隙测量　b）径向游隙测量

一般机械中，安装轴承时均有工作游隙。工作游隙过大，轴承内载荷不稳定，运转时产生振动，精度和疲劳强度差，寿命缩短。工作游隙过小，将造成运转温度过高，易产生过热“咬住”，以至损坏。所以安装轴承时，应根据工作精度、使用场合、转速高低来选择合适的轴承工作游隙。

选用时，一般高速运转的轴承采用较大的工作游隙；低速重载荷的轴承，采用较小的工作游隙，以保证轴承正常工作，延长使用寿命。

滚动轴承的轴向游隙要求见表 9-73。

2）滚动轴承的预紧方法。若给轴承内圈或外圈以一定的轴向预负荷，这时内、外圈将发生相对的位移（图 9-94），结果消除了内、外圈与滚动体的游隙，并产生了初始的接触弹性变形，这种方法称为预紧。

表 9-73　滚动轴承的轴向游隙要求

圆锥滚子轴承的轴向游隙/mm				
系　　列	轴　的　直　径			
	≤30	>30～50	>50～80	>80～120
轻系列	0.03～0.10	0.04～0.11	0.05～0.13	0.06～0.15
中系列及重系列	0.04～0.11	0.05～0.13	0.06～0.15	0.07～0.18

角接触球轴承的轴向游隙/mm				
系　　列	轴　的　直　径			
	≤30	>30～50	>50～80	>80～120
轻系列	0.02～0.06	0.03～0.09	0.04～0.10	0.05～0.12
中系列及重系列	0.03～0.09	0.04～0.10	0.05～0.12	0.06～0.15

双列角接触球轴承的轴向游隙/mm				
系　　列	轴　的　直　径			
	≤30	>30～50	>50～80	>80～120
轻系列	0.03～0.08	0.04～0.10	0.05～0.12	0.06～0.15
中系列及重系列	0.05～0.11	0.06～0.12	0.07～0.14	0.10～0.18

预紧后的轴承能控制正确的游隙，从而提高了轴的旋转精度。

预紧分为径向和轴向两类，常是相互有关的。径向预紧可利用锥孔轴承在其配合锥颈上做轴向位移，使内圈涨大来实现（图 9-95）。

轴向预紧常用的方法见表 9-74。

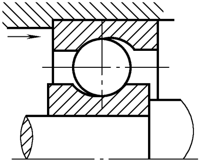


图 9-94　预紧的原理

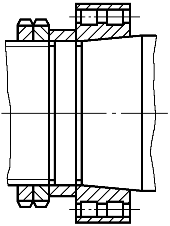


图 9-95　用调整轴承锥孔轴向位置的预紧方法

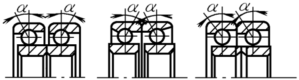
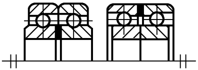
3）滚动轴承预紧力的测量。

①　利用衬垫或间隔套的预紧方法，必须测出轴承在给定的预紧力 F 作用下，轴承内外圈端面的错位量，以调整衬垫或内外间隔套的厚度。测量方法见图 9-96。

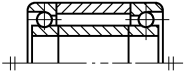
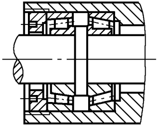
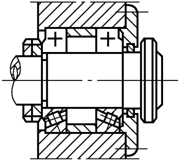
②　精密部件轴承的装配，可采用图 9-97 所示的方法进行。此法比较精确，适用于批量生产。

如图 9-97a、b 所示，通过转动螺母压缩弹簧至 H 尺寸，使弹簧的涨力符合规定的预紧力，测出 B 值，与定位值 A 进行比较，得出内、外圈端面的错位量，即为安装轴承时内外间隔套所需的配磨量。

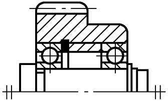
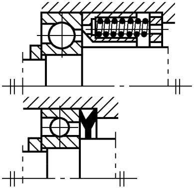
表 9-74　轴向预紧常用的方法

锁紧方法	图　　例	说　　明
采用成对安装角接触球轴承	 a)　b)　c) a)磨窄外圈　b)磨窄内圈 c)外圈宽、窄相对安装	不需进行调整,装配后即能获得精确的预紧力。适用于成批生产及精度要求较高的轴承部件
在成对安装的轴承外圈或内圈之间置以衬垫		成对组合的轴承并排安装在部件内时,应用不同厚度的衬垫能得到不同的预紧力

（续）

锁紧方法	图　　例	说　　明
在成对安装的轴承内圈和外圈中间配置不同厚度的间隔套		为提高成对组合轴承的刚性,两轴承有一定的轴向距离时,改变内外间隔套的厚度,能得到不同的预紧力
带螺纹的端盖,使轴承内外圈做相对轴向位移		调整端盖轴向位置,即可得到所需要的预紧力
用双螺母使轴承预紧		调整螺母轴向位移,获得不同的预紧力

(续)

锁紧方法	图　　例	说　　明
用弹性挡圈及间隔套预紧		按弹性挡圈位置，调整间隔套厚度，得到所需预紧力
利用经常作用于轴承外圈上的弹簧定压预紧		不受轴承磨损和轴向热变形的影响，能保持一定的预紧力。预紧力大小靠弹簧调整

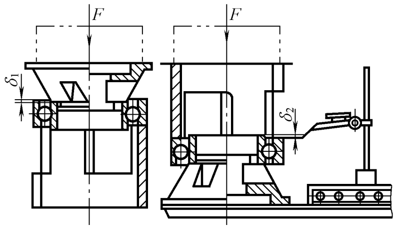


图 9-96　给定预紧力 *F* 测量内、外圈端面错位量

如图 9-97c 所示，首先转动左端螺母给轴承以少量预紧，调节中间螺母，使两轴承受力相等，再转动右端螺母，压缩弹簧至规定的预紧力（即 *H* 值），测出 *B* 与 *A* 的差值，即为所需的外间隔套的调整量。

③　对预紧力较小或仅需消除轴承游隙时，除采用上述方法测量外，还可凭操作者的感觉测量。如图 9-98 所示的感觉法，即用手或重块直接压紧轴承外圈或内圈（压紧力相当于预紧力），另一只手拨动内、外间隔套，验证预紧力是否适当。如果感觉松紧一样或阻力适中，即内、外间隔套的厚度差已符合要求。

（2）一般滚动轴承的装配

滚动轴承有圆柱孔和圆锥孔两类。其安装方法与轴承结构、尺寸大小、轴承部件配合性质有关。安装时的装配压力应直接加在配合的套圈端面上（图 9-99），严禁借用滚动体传递压力，破坏轴承精度。

1）圆柱孔滚动轴承的装配。

①　不可分离型滚动轴承

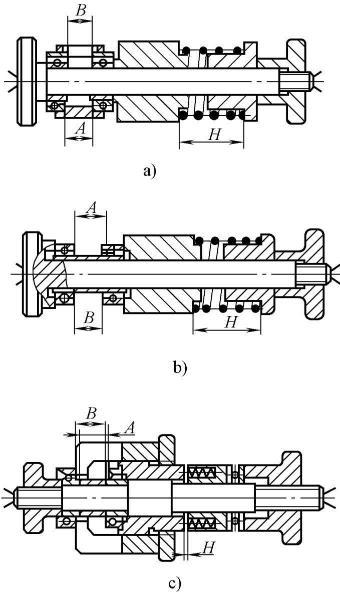


图 9-97　用弹簧装置测量轴承预紧后的内、外圈错位量

a）角接触球轴承背对背安装　b）角接触球轴承面对面安装　c）角接触球轴承串接安装

a. 当采用内圈与主轴过盈配合，外圈与外壳孔间隙配合时，可先将轴承安装在主轴轴颈上，压装时轴承端面垫上套筒（图 9-99a），然后将装好轴承的主轴组件装入外壳孔中。

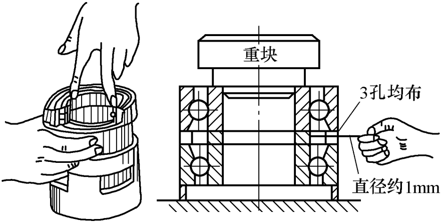


图 9-98 用感觉法预紧轴承

a）手拨法 b）棒拨法

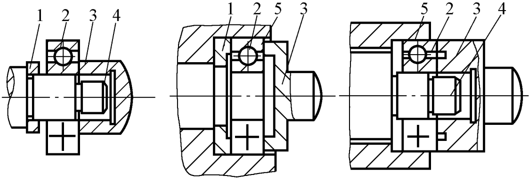


图 9-99 用压力法安装滚动轴承

1—拆卸挡圈 2—轴承 3—工具 4—轴 5—壳体

b. 当采用轴承外圈与外壳孔为过盈配合，内圈与主轴为间隙配合时，应将轴承先压入外壳孔中。压装时采用的装配套筒外径应略小于外壳孔的直径（图 9-99b）。

c. 当采用轴承内圈与轴、外圈与外壳孔都是过盈配合时，压装时采用的装配套端面应制成能同时压入轴承

内、外圈的圆环端面（图 9-99c）。使压力同时传递给内、外圈而将轴承压入轴和外壳孔。

② 分离型滚动轴承。如圆锥滚子轴承，可分别将外圈装入外壳孔中，内圈装入主轴轴颈，然后调整工作游隙。

精密轴承或配合过盈量较大的轴承，在装配时，常采用温差法装配，以减少变形量。其加热温度不应高于 100°C，冷却温度不应低于 –80°C。加热介质常用油液，加热时应注意轴承不能直接接触油槽底部。冷却轴承常采用低温箱或固态二氧化碳（干冰）冷却。

2）圆锥孔滚动轴承的装配。调心滚子轴承、调心球轴承的内锥孔可直接安装在有锥度的主轴上或安装在紧定套和退卸套的锥面上（图 9-100）。其配合过盈量取

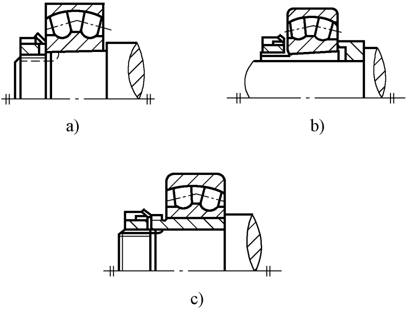


图 9-100　圆锥孔轴承安装

a）直接安装在主轴颈上　b）装在紧定套上

c）装在退卸套上

决于轴承内圈沿轴颈锥面的轴向移动量。

3）推力球轴承的装配。推力球轴承在装配时，应注意区分紧环和松环，松环的内孔比紧环的内孔大，故紧环应靠在与轴相对静止的面上如图 9-101 所示，右端的紧环靠在轴肩端面上，左端的紧环靠在圆螺母的端面上，否则易使滚动体丧失作用，同时会加速配合零件间的磨损。

推力球轴承的游隙可用圆螺母来调整。

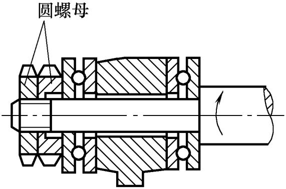


图 9-101　推力轴承的装配和调整

第十章　常用技术标准应用

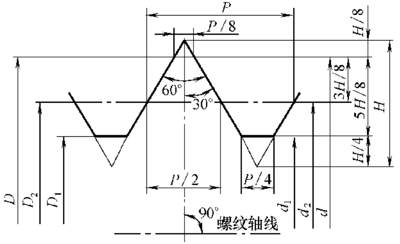
一、螺纹

1. 普通螺纹

（1）普通螺纹的基本牙型

普通螺纹基本牙型的原始三角形为60°的等边三角形，其高度为 H，基本牙型上大径和小径处的削平高度分别为 $H/8$ 和 $H/4$。普通螺纹基本牙型及尺寸计算见表 10-1。

表 10-1　普通螺纹基本牙型及尺寸计算（GB/T192—2003）



$$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P=0.866025404P \quad \frac{5}{8}H=0.541265877P$$

$$\frac{3}{8}H=0.324759526P \quad \frac{1}{4}H=0.216506351P$$

$$\frac{1}{8}H=0.108253175P$$

D—内螺纹大径　d—外螺纹大径　D_2—内螺纹中径　d_2—外螺纹中径　D_1—内螺纹小径　d_1—外螺纹小径　P—螺距　H—原始三角形高度

（2）普通螺纹的基本尺寸（表 10-2）

表 10-2　普通螺纹的基本尺寸（GB/T196—2003）

（单位：mm）

<table>
<tr><th colspan="3">公称直径 D、d</th><th>螺距</th><th>中径</th><th>小径</th></tr>
<tr><th>第一系列</th><th>第二系列</th><th>第三系列</th><th>P</th><th>D₂ 或 d₂</th><th>D₁ 或 d₁</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 25</td><td>0. 838</td><td>0. 729</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>0. 870</td><td>0. 783</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">1. 1</td><td rowspan="2"></td><td>0. 25</td><td>0. 938</td><td>0. 829</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>0. 970</td><td>0. 883</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1. 2</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 25</td><td>1. 038</td><td>0. 929</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>1. 070</td><td>0. 983</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">1. 4</td><td rowspan="2"></td><td>0. 3</td><td>1. 205</td><td>1. 075</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>1. 270</td><td>1. 183</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1. 6</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 35</td><td>1. 373</td><td>1. 221</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>1. 470</td><td>1. 383</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">1. 8</td><td rowspan="2"></td><td>0. 35</td><td>1. 573</td><td>1. 421</td></tr>
<tr><td>0. 2</td><td>1. 670</td><td>1. 583</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 4</td><td>1. 740</td><td>1. 567</td></tr>
<tr><td>0. 25</td><td>1. 838</td><td>1. 729</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">2. 2</td><td rowspan="2"></td><td>0. 45</td><td>1. 908</td><td>1. 713</td></tr>
<tr><td>0. 25</td><td>2. 038</td><td>1. 929</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2. 5</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 45</td><td>2. 208</td><td>2. 013</td></tr>
<tr><td>0. 35</td><td>2. 273</td><td>2. 121</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 5</td><td>2. 675</td><td>2. 459</td></tr>
<tr><td>0. 35</td><td>2. 773</td><td>2. 621</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">3. 5</td><td rowspan="2"></td><td>0. 6</td><td>3. 110</td><td>2. 850</td></tr>
<tr><td>0. 35</td><td>3. 273</td><td>3. 121</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>0. 7</td><td>3. 545</td><td>3. 242</td></tr>
<tr><td>0. 5</td><td>3. 675</td><td>3. 459</td></tr>
<tr><td></td><td>4. 5</td><td></td><td>0. 75</td><td>4. 013</td><td>3. 688</td></tr>
</table>

（续）

公称直径 D、d			螺距	中径	小径
第一系列	第二系列	第三系列	P	D_2 或 d_2	D_1 或 d_1
	4.5		0.5	4.175	3.959
5		5.5	**0.8**	4.480	4.134
			0.5	4.675	4.459
			0.5	5.175	4.959
6			**1**	5.350	4.917
			0.75	5.513	5.188
		7	**1**	6.350	5.917
			0.75	6.513	6.188
8			**1.25**	7.188	6.647
			1	7.350	6.917
			0.75	7.513	7.188
		9	**1.25**	8.188	7.647
			1	8.350	7.917
			0.75	8.513	8.188
10			**1.5**	9.026	8.376
			1.25	9.188	8.647
			1	9.350	8.917
			0.75	9.513	9.188
		11	**1.5**	10.026	9.376
			1	10.350	9.917
			0.75	10.513	10.188
12			**1.75**	10.863	10.106
			1.5	11.026	10.376
			1.25	11.188	10.647
			1	11.350	10.917
	14		**2**	12.701	11.835

（续）

公称直径 D、d			螺距	中径	小径
第一系列	第二系列	第三系列	P	D_2 或 d_2	D_1 或 d_1
	14		1.5	13.026	12.376
			1.25①	13.188	12.647
			1	13.350	12.917
		15	1.5	14.026	13.376
			1	14.350	13.917
16			**2**	14.701	13.835
			1.5	15.026	14.376
			1	15.350	14.917
		17	1.5	16.026	15.376
			1	16.350	15.917
	18		**2.5**	16.376	15.294
			2	16.701	15.835
			1.5	17.026	16.376
			1	17.350	16.917
20			**2.5**	18.376	17.294
			2	18.701	17.835
			1.5	19.026	18.376
			1	19.350	18.917
	22		**2.5**	20.376	19.294
			2	20.701	19.835
			1.5	21.026	20.376
			1	21.350	20.917
24			**3**	22.051	20.752
			2	22.701	21.835
			1.5	23.026	22.376
			1	23.350	22.917

（续）

公称直径 D、d			螺距	中径	小径
第一系列	第二系列	第三系列	P	D_2 或 d_2	D_1 或 d_1
		25	2	23.701	22.835
			1.5	24.026	23.376
			1	24.350	23.917
		26	1.5	25.026	24.376
	27		**3**	25.051	23.752
			2	25.701	24.835
			1.5	26.026	25.376
			1	26.350	25.917
		28	2	26.701	25.835
			1.5	27.026	26.376
			1	27.350	26.917
30			**3.5**	27.727	26.211
			3	28.051	26.752
			2	28.701	27.835
			1.5	29.026	28.376
			1	29.350	28.917
		32	2	30.701	29.835
			1.5	31.026	30.376
	33		**3.5**	30.727	29.211
			3	31.051	29.752
			2	31.701	30.835
			1.5	32.026	31.376
		35②	1.5	34.026	33.376
36			4	33.402	31.670
			3	34.051	32.752
			2	34.701	33.835

（续）

公称直径 D、d			螺距	中径	小径
第一系列	第二系列	第三系列	P	D_2 或 d_2	D_1 或 d_1
36			1.5	35.026	34.376
		38	1.5	37.026	36.376
	39		**4**	36.402	34.670
			3	37.051	35.752
			2	37.701	36.835
			1.5	38.026	37.376
		40	3	38.051	36.752
			2	38.701	37.835
			1.5	39.026	38.376
42			**4.5**	39.077	37.129
			4	39.402	37.670
			3	40.051	38.752
			2	40.701	39.835
			1.5	41.026	40.376
	45		**4.5**	42.077	40.129
			4	42.402	40.670
			3	43.051	41.752
			2	43.701	42.835
			1.5	44.026	43.376
48			**5**	44.752	42.587
			4	45.402	43.670
			3	46.051	44.752
			2	46.701	45.835
			1.5	47.026	46.376
		50	3	48.051	46.752
			2	48.701	47.835
			1.5	49.026	48.376

（续）

公称直径 D、d			螺距	中径	小径
第一系列	第二系列	第三系列	P	D_2 或 d_2	D_1 或 d_1
	52		**5**	48.752	46.587
			4	49.402	47.670
			3	50.051	48.752
			2	50.701	49.835
			1.5	51.026	50.376
		55	4	52.402	50.670
			3	53.051	51.752
			2	53.701	52.835
			1.5	54.026	53.376
56			**5.5**	52.428	50.046
			4	53.402	51.670
			3	54.051	52.752
			2	54.701	53.835
			1.5	55.026	54.376
		58	4	55.402	53.670
			3	56.051	54.752
			2	56.701	55.835
			1.5	57.026	56.376
	60		5.5	56.428	54.046
			4	57.402	55.670
			3	58.051	56.752
			2	58.701	57.835
			1.5	59.026	58.376

注：1. 直径优先选用第一系列，第三系列尽可能不用。应先选用黑体字螺距。

2. $D_2 = D - 0.6495P$；$D_1 = D - 1.0825P$；$d_2 = d - 0.6495P$；$d_1 = d - 1.0825P$。

① M14×1.25 仅用于发动机火花塞。

② M35×1.5 仅用于轴承锁紧螺母。

（3）普通螺纹的优选系列（表10-3）

表10-3　普通螺纹的优选系列（GB/T 9144—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺距 P	
第一系列	第二系列	粗　牙	细　牙
1		0.25	
1.2		0.25	
	1.4	0.3	
1.6		0.35	
	1.8	0.35	
2		0.4	
2.5		0.45	
3		0.5	
	3.5	0.6	
4		0.7	
5		0.8	
6		1	
	7	1	
8		1.25	1
10		1.5	1.25，1
12		1.75	1.5，1.25
	14	2	1.5
16		2	1.5

（续）

公称直径 D、d		螺距 P	
第一系列	第二系列	粗　牙	细　牙
	18	2. 5	2，1. 5
20		2. 5	2，1. 5
	22	2. 5	2，1. 5
24		3	2
	27	3	2
30		3. 5	2
	33	3. 5	2
36		4	3
	39	4	3
42		4. 5	3
	45	4. 5	3
48		5	3
	52	5	4
56		5. 5	4
	60	5. 5	4
64		6	4

（4）普通螺纹的管路系列（表 10-4）

表 10-4　普通螺纹的管路系列（GB/T 1414—2003）

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺距 P	公称直径 D、d		螺距 P
第一系列	第二系列		第一系列	第二系列	
8		1.25，1		52	1.5
10		1.25，1		60	3，2
12		1	64		1.5
	14	2，1.5	72		3
16		1.5，1		76	3
	18	2，1.5	80		1.5
20		1.5		85	2
	22	1.5	90		4
24		2	100		3
	27	2		115	4
30		2，1.5	125		2
	33	2	140		3
36		1.5		150	2
	39	3	160		2
42		3，2		170	4
48		3，2			

（5）普通螺纹的公差与配合（GB/T 197—2003）

1）普通螺纹公差带。螺纹公差带是由公差带的位置和公差带的大小组成的（图 10-1）。公差带的位置是指公差带的起始点到基本牙型的距离，并称为基本偏差。国标规定外螺纹的上偏差（es）和内螺纹的下偏差（EI）为基本偏差。

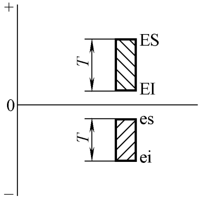


图 10-1　螺纹公差带及基本偏差

T—公差
ES—内螺纹上偏差
EI—内螺纹下偏差
es —外螺纹上偏差
ei —外螺纹下偏差

对内螺纹规定了 G 和 H 两种位置（图 10-2），对外螺纹规定了 e、f、g 和 h 4 种位置（图 10-3）。H、h 的基本偏差为零，G 的基本偏差为正值，e、f、g 的基本偏差为负值。

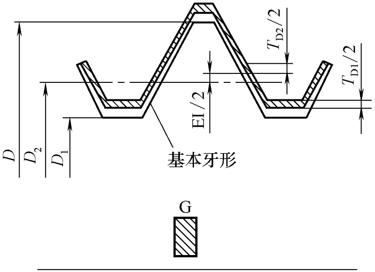
2）公差带的大小及公差等级的划分。公差带的大小由公差值 T 所决定，将 T 划分为若干等级称为公差等级，以代表公差带的大小。

标准中对内、外螺纹的中径和顶径规定的公差等级见表 10-5。

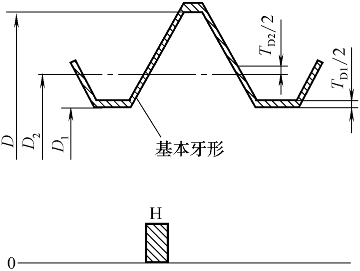
表 10-5　内、外螺纹的公差等级

螺 纹 直 径	公 差 等 级
内螺纹小径 D_1	4、5、6、7、8
内螺纹中径 D_2	4、5、6、7、8
外螺纹大径 d	4、6、8
外螺纹中径 d_2	3、4、5、6、7、8、9

3）螺纹旋合长度。标准中将螺纹的旋合长度分为三组，即短旋合长度、中等旋合长度和长旋合长度，其代号分别为 S、N、L，其中常使用中等旋合长度。螺纹



a)



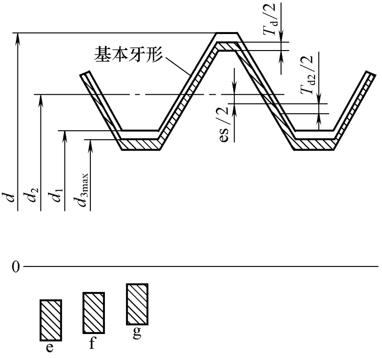
b)

图 10-2　内螺纹公差带位置

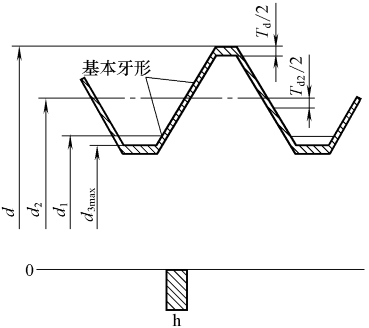
T_{D1}—内螺纹小径公差　T_{D2}—内螺纹中径公差

旋合长度见表 10-6。

4）螺纹精度及公差带的选用。螺纹精度是由螺纹公差带和旋合长度两个因素所决定的。它是螺纹质量的综合指标，直接影响螺纹的配合质量和使用性能。



a)



b)

图 10-3　外螺纹公差带位置

T_d—外螺纹大径公差　T_{d2}—外螺纹中径公差

表 10-6　普通螺纹旋合长度

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺距 P	旋合长度			
			S	N		L
>	≤		≤	>	≤	>
0.99	1.4	0.2 0.25 0.3	0.5 0.6 0.7	0.5 0.6 0.7	1.4 1.7 2	1.4 1.7 2
1.4	2.8	0.2 0.25 0.35 0.4 0.45	0.5 0.6 0.8 1 1.3	0.5 0.6 0.8 1 1.3	1.5 1.9 2.6 3 3.8	1.5 1.9 2.6 3 3.8
2.8	5.6	0.35 0.5 0.6 0.7 0.75 0.8	1 1.5 1.7 2 2.2 2.5	1 1.5 1.7 2 2.2 2.5	3 4.5 5 6 6.7 7.5	3 4.5 5 6 6.7 7.5
5.6	11.2	0.5 0.75 1 1.25 1.5	1.6 2.4 3 4 5	1.6 2.4 3 4 5	4.7 7.1 9 12 15	4.7 7.1 9 12 15

（续）

公称直径 D、d		螺距 P	旋合长度			
			S	N		L
>	≤		≤	>	≤	>
11.2	22.4	0.5	1.8	1.8	5.4	5.4
		0.75	2.7	2.7	8.1	8.1
		1	3.8	3.8	11	11
		1.25	4.5	4.5	13	13
		1.5	5.6	5.6	16	16
		1.75	6	6	18	18
		2	8	8	24	24
		2.5	10	10	30	30
22.4	45	0.75	3.1	3.1	9.4	9.4
		1	4.8	4	12	12
		1.5	6.3	6.3	19	19
		2	8.5	8.5	25	25
		3	12	12	36	36
		3.5	15	15	45	45
		4	18	18	53	53
		4.5	21	21	63	63
45	90	1	4	4.8	14	14
		1.5	7.5	7.5	22	22
		2	9.5	9.5	28	28
		3	15	5	45	45
		4	19	19	56	56
		5	24	24	71	71
		5.5	28	28	85	85
		6	32	32	95	95

螺纹精度分为精密、中等和粗糙三种级别，其选用原则是：

精密——用于精密螺纹，要求配合性质变动较小。

中等——一般用途螺纹。

粗糙——用于制造精度不高或制造比较困难的螺纹。

根据螺纹配合的要求，将公差等级和公差位置组合，可得到多种公差带。但为了减少量刃具的规格，标准中规定了一般选用的公差带。

螺纹公差的选用见表 10-7。

5）普通螺纹的极限偏差。内、外螺纹各个公差带的基本偏差和公差的计算公式为：

内螺纹中径的下偏差（基本偏差）为 EI；

内螺纹中径的上偏差为 $ES = EI + T_{D2}$；

内螺纹小径的下偏差为 EI；

内螺纹小径的上偏差为 $ES = EI + T_{D1}$；

外螺纹中径的上偏差（基本偏差）为 es；

外螺纹中径的下偏差为 $ei = es - T_{d2}$；

外螺纹大径的上偏差为 es；

外螺纹大径的下偏差为 $ei = es - T_{d}$。

为了简化螺纹极限尺寸的计算，可查表 10-8。

（6）标记方法及示例

1）标记方法。完整的螺纹标记由螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号及其他信息组成。螺纹特征代号用字母“M”表示。单线螺纹的尺寸代号为“公称直径×螺距”，公称直径和螺距数值的单位为 mm。对粗牙螺

表 10-7　内、外螺纹的推荐公差带

	精　度	公差带位置 G			公差带位置 H		
		S	N	L	S	N	L
内螺纹	精　密	—	—	—	4H	5H	6H
	中　等	(5G)	**6G**	(7G)	**5H**	**6H**	**7H**
	粗　糙	—	(7G)	(8G)	—	7H	8H

	精度	公差带位置 e			公差带位置 f			公差带位置 g			公差带位置 h		
		S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L
外螺纹	精密	—	—	—	—	—	—	—	(4g)	(5g4g)	(3h4h)	**4h**	(5h4h)
	中等	—	**6e**	(7e6e)	—	**6f**	—	(5g6g)	**6g**	(7g6g)	(5h6h)	6h	(7h6h)
	粗糙	—	(8e)	(9e8e)	—	—	—	—	8g	(9g8g)	—	—	—

注：1. 大量生产的螺纹紧固件采用带方框的粗字体公差带。
2. 优先选用粗字体的公差带，其次选择一般字体的公差带，尽可能不用括号内的公差带。
3. 如无特殊说明，推荐的公差带适用于涂镀前的螺纹。涂镀后，螺纹实际轮廓上任何点的螺纹不应超越按公差位置 H 或 h 所确定的最大实体牙型。

表 10-8　普通螺纹公差带的极限偏差（GB/T2516—2003）

（单位：μm）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1	4H	+95	0	+150	0	3h4h	0	−56	0	−112
			4H5H	+95	0	+190	0	4h	0	−71	0	−112
			5G	+144	+26	+216	+26	5g6g	−26	−116	−26	−206
			5H	+118	0	+190	0	5h4h	0	−90	0	−112
			5H6H	+118	0	+236	0	5h6h	0	−90	0	−180
			6G	+176	+26	+262	+26	6e	−60	−172	−60	−240
			6H	+150	0	+236	0	6f	−40	−152	−40	−220
			7G	+216	+26	+326	+26	6g	−26	−138	−26	−206
			7H	+190	0	+300	0	6h	0	−112	0	−180
								7g6g	−26	−166	−26	−206
								7h6h	0	−140	0	−180
								8g	−26	−206	−26	−306
								8h	0	−180	0	−280

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1.25	4H	+100	0	+170	0	3h4h	0	−60	0	−132
			4H5H	+100	0	+212	0	4h	0	−75	0	−132
			5G	+188	+28	+240	+28	5g6g	−28	−123	−28	−240
			5H	+125	0	+212	0	5h4h	0	−95	0	−132
			5H6H	+125	0	+265	0	5h6h	0	−95	0	−212
			6G	+188	+28	+293	+28	6e	−63	−181	−63	−275
			6H	+160	0	+265	0	6f	−42	−160	−42	−254
			7G	+228	+28	+363	+28	6g	−28	−146	−28	−240
			7H	+200	0	+335	0	6h	0	−118	0	−212
								7g6g	−28	−178	−28	−240
								7h6h	0	−150	0	−212
								8g	−28	−218	−28	−363
								8h	0	−190	0	−335

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
5.6	11.2	1.5	4H	+112	0	+190	0	3h4h	0	-67	0	-150
			4H5H	+112	0	+236	0	4h	0	-85	0	-150
			5G	+172	+32	+268	+32	5g6g	-32	-138	-32	-268
			5H	+140	0	+236	0	5h4h	0	-106	0	-150
			5H6H	+140	0	+300	0	5h6h	0	-106	0	-236
			6G	+212	+32	+332	+32	6e	-67	-199	-67	-303
			6H	+180	0	+300	0	6f	-45	-177	-45	-281
			7G	+256	+32	+407	+32	6g	-32	-164	-32	-268
			7H	+224	0	+375	0	6h	0	-132	0	-236
								7g6g	-32	-202	-32	-268
								7h6h	0	-170	0	-236
								8g	-32	-244	-32	-407
								8h	0	-212	0	-375

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	0.5	4H	+75	0	+90	0	3h4h	0	−45	0	−67
			4H5H	+75	0	+112	0	4h	0	−56	0	−67
			5G	+115	+20	+132	+20	5g6g	−20	−91	−20	−126
			5H	+95	0	+112	0	5h4h	0	−71	0	−67
			5H6H	+95	0	+140	0	5h6h	0	−71	0	−106
			6G	+138	+20	+160	+20	6e	−50	−140	−50	−156
			6H	+118	0	+140	0	6f	−36	−126	−36	−142
			7G	+170	+20	+200	+20	6g	−20	−110	−20	−126
			7H	+150	0	+180	0	6h	0	−90	0	−106

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	0.75	4H	+90	0	+118	0	3h4h	0	-53	0	-90
			4H5H	+90	0	+150	0	4h	0	-67	0	-90
			5G	+134	+22	+172	+22	5g6g	-22	-107	-22	-162
			5H	+112	0	+150	0	5h4h	0	-85	0	-90
			5H6H	+112	0	+190	0	5h6h	0	-85	0	-140
			6G	+162	+22	+212	+22	6e	-56	-162	-56	-196
			6H	+140	0	+190	0	6f	-38	-144	-38	-178
			7G	+202	+22	+258	+22	6g	-22	-128	-22	-162
			7H	+180	0	+236	0	6h	0	-106	0	-140
								7g6g	-22	-154	-22	-162
								7h6h	0	-132	0	-140

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1	4H	+100	0	+150	0	3h4h	0	−60	0	−112
			4H5H	+100	0	+190	0	4h	0	−75	0	−112
			5G	+151	+26	+216	+26	5g6g	−26	−121	−26	−206
			5H	+125	0	+190	0	5h4h	0	−95	0	−112
			5H6H	+125	0	+236	0	5h6h	0	−95	0	−180
			6G	+186	+26	+262	+26	6e	−60	−178	−60	−240
			6H	+160	0	+236	0	6f	−40	−158	−40	−220
			7G	+226	+26	+326	+26	6g	−25	−144	−26	−206
			7H	+200	0	+300	0	6h	0	−118	0	−180
								7g6g	−26	−176	−26	−206
								7h6h	0	−150	0	−180
								8g	−26	−216	−26	−306
								8h	0	−190	0	−280

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.25	4H	+112	0	+170	0	3h4h	0	-67	0	-132
			4H5H	+112	0	+212	0	4h	0	-85	0	-132
			5G	+168	+28	+240	+28	5g6g	-28	-134	-28	-240
			5H	+140	0	+212	0	5h4h	0	-106	0	-132
			5H6H	+140	0	+265	0	5h6h	0	-106	0	-212
			6G	+208	+28	+293	+28	6e	-63	-195	-63	-275
			6H	+180	0	+265	0	6f	-42	-174	-42	-254
			7G	+252	+28	+363	+28	6g	-28	-160	-28	-240
			7H	+224	0	+335	0	6h	0	-132	0	-212
								7g6g	-28	-198	-28	-240
								7h6h	0	-170	0	-212
								8g	-28	-240	-28	-363
								8h	0	-212	0	-335

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.5	4H	+118	0	+190	0	3h4h	0	−71	0	−150
			4H5H	+118	0	+236	0	4h	0	−90	0	−150
			5G	+182	+32	+268	+32	5g6g	−32	−144	−32	−268
			5H	+150	0	+236	0	5h4h	0	−112	0	−150
			5H6H	+150	0	+300	0	5h6h	0	−112	0	−236
			6G	+222	+32	+332	+32	6e	−67	−207	−67	−303
			6H	+190	0	+300	0	6f	−45	−185	−45	−281
			7G	+268	+32	+407	+32	6g	−32	−172	−32	−268
			7H	+236	0	+375	0	6h	0	−140	0	−236
								7g6g	−32	−212	−32	−268
								7h6h	0	−180	0	−236
								8g	−32	−256	−32	−407
								8h	0	−224	0	−375

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	1.75	4H	+125	0	+212	0	3h4h	0	-75	0	-170
			4H5H	+125	0	+265	0	4h	0	-95	0	-170
			5G	+194	+34	+299	+34	5g6g	-34	-152	-34	-299
			5H	+160	0	+265	0	5h4h	0	-118	0	-170
			5H6H	+160	0	+335	0	5h6h	0	-118	0	-265
			6G	+234	+34	+369	+34	6e	-71	-221	-71	-336
			6H	+200	0	+335	0	6f	-48	-198	-48	-313
			7G	+284	+34	+459	+34	6g	-34	-184	-34	-299
			7H	+250	0	+425	0	6h	0	-150	0	-265
								7g6g	-34	-224	-34	-299
								7h6h	0	-190	0	-265
								8g	-34	-270	-34	-459
								8h	0	-236	0	-425

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	2	4H	+132	0	+236	0	3h4h	0	−80	0	−180
			4H5H	+132	0	+300	0	4h	0	−100	0	−180
			5G	+208	+38	+338	+38	5g6g	−38	−163	−38	−318
			5H	+170	0	+300	0	5h4h	0	−125	0	−180
			5H6H	+170	0	+375	0	5h6h	0	−125	0	−280
			6G	+250	+38	+413	+38	6e	−71	−231	−71	−351
			6H	+212	0	+375	0	6f	−52	−212	−52	−332
			7G	+303	+38	+513	+38	6g	−38	−198	−38	−318
			7H	+265	0	+475	0	6h	0	−160	0	−280
								7g6g	−38	−238	−38	−318
								7h6h	0	−200	0	−280
								8g	−38	−288	−38	−488
								8h	0	−250	0	−450

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
11.2	22.4	2.5	4H	+140	0	+280	0	3h4h	0	−85	0	−212
			4H5H	+140	0	+355	0	4h	0	−106	0	−212
			5G	+222	+42	+397	+42	5g6g	−42	−174	−42	−377
			5H	+180	0	+355	0	5h4h	0	−132	0	−212
			5H6H	+180	0	+450	0	5h6h	0	−132	0	−335
			6G	+266	+42	+492	+42	6e	−80	−250	−80	−415
			6H	+224	0	+450	0	6f	−58	−228	−58	−393
			7G	+322	+42	+602	+42	6g	−42	−212	−42	−377
			7H	+280	0	+560	0	6h	0	−170	0	−335
								7g6g	−42	−254	−42	−377
								7h6h	0	−212	0	−335
								8g	−42	−307	−42	−572
								8h	0	−265	0	−530

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	1	4H	+106	0	+150	0	3h4h	0	-63	0	-112
			4H5H	+106	0	+190	0	4h	0	-80	0	-112
			5G	+158	+26	+216	+26	5g6g	-26	-126	-26	-206
			5H	+132	0	+190	0	5h4h	0	-100	0	-112
			5H6H	+132	0	+236	0	5h6h	0	-100	0	-180
			6G	+196	+26	+262	+26	6e	-60	-185	-60	-240
			6H	+170	0	+236	0	6f	-40	-165	-40	-220
			7G	+238	+26	+326	+26	6g	-26	-151	-26	-206
			7H	+212	0	+300	0	6h	0	-125	0	-180
								7g6g	-26	-186	-26	-206
								7h6h	0	-160	0	-180
								8g	-26	-226	-26	-306
								8h	0	-200	0	-280

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	1.5	4H	+125	0	+190	0	3h4h	0	-75	0	-150
			4H5H	+125	0	+236	0	4h	0	-95	0	-150
			5G	+192	+32	+268	+32	5g6g	-32	-150	-32	-268
			5H	+160	0	+236	0	5h4h	0	-118	0	-150
			5H6H	+160	0	+300	0	5h6h	0	-118	0	-236
			6G	+232	+32	+332	+32	6e	-67	-217	-67	-303
			6H	+200	0	+300	0	6f	-45	-195	-45	-281
			7G	+282	+32	+407	+32	6g	-32	-182	-32	-268
			7H	+250	0	+375	0	6h	0	-150	0	-236
								7g6g	-32	-222	-32	-268
								7h6h	0	-190	0	-236
								8g	-32	-268	-32	-407
								8h	0	-236	0	-375

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	2	4H	+140	0	+236	0	3h4h	0	-85	0	-180
			4H5H	+140	0	+300	0	4h	0	-106	0	-180
			5G	+218	+38	+338	+38	5g6g	-38	-170	-38	-318
			5H	+180	0	+300	0	5h4h	0	-132	0	-180
			5H6H	+180	0	+375	0	5h6h	0	-132	0	-280
			6G	+262	+38	+413	+38	6e	-71	-241	-71	-351
			6H	+224	0	+375	0	6f	-52	-222	-52	-332
			7G	+318	+38	+513	+38	6g	-38	-208	-38	-318
			7H	+280	0	+475	0	6h	0	-170	0	-280
								7g6g	-38	-250	-38	-318
								7h6h	0	-221	0	-280
								8g	-38	-303	-38	-488
								8h	0	-265	0	-450

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	3	4H	+170	0	+315	0	3h4h	0	-100	0	-236
			4H5H	+170	0	+400	0	4h	0	-125	0	-236
			5G	+260	+48	+448	+48	5g6g	-48	-208	-48	-423
			5H	+212	0	+400	0	5h4h	0	-160	0	-236
			5H6H	+212	0	+500	0	5h6h	0	-160	0	-375
			6G	+313	+48	+548	+48	6e	-85	-285	-85	-460
			6H	+265	0	+500	0	6f	-63	-263	-63	-438
			7G	+383	+48	+678	+48	6g	-48	-248	-48	-423
			7H	+335	0	+630	0	6h	0	-200	0	-375
								7g6g	-48	-298	-48	-423
								7h6h	0	-250	0	-375
								8g	-48	-363	-48	-648
								8h	0	-315	0	-600

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	3.5	4H	+180	0	+355	0	3h4h	0	−106	0	−265
			4H5H	+180	0	+450	0	4h	0	−132	0	−265
			5G	+277	+53	+503	+53	5g6g	−53	−223	−53	−478
			5H	+224	0	+450	0	5h4h	0	−170	0	−265
			5H6H	+224	0	+560	0	5h6h	0	−170	0	−425
			6G	+333	+53	+613	+53	6e	−90	−302	−90	−515
			6H	+280	0	+560	0	6f	−70	−282	−70	−495
			7G	+408	+53	+763	+53	6g	−53	−265	−53	−478
			7H	+355	0	+710	0	6h	0	−212	0	−425
								7g6g	−53	−318	−53	−478
								7h6h	0	−265	0	−425
								8g	−53	−388	−53	−723
								8h	0	−335	0	−670

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	4	4H	+190	0	+375	0	3h4h	0	−112	0	−300
			4H5H	+190	0	+475	0	4h	0	−140	0	−300
			5G	+296	+60	+535	+60	5g6g	−60	−140	−60	−535
			5H	+236	0	+475	0	5h4h	0	−180	0	−300
			5H6H	+236	0	+600	0	5h6h	0	−180	0	−475
			6G	+360	+60	+660	+60	6e	−95	−319	−95	−570
			6H	+300	0	+600	0	6f	−75	−299	−75	−550
			7G	+435	+60	+810	+60	6g	−60	−284	−60	−535
			7H	+375	0	+750	0	6h	0	−224	0	−475
								7g6g	−60	−340	−60	−535
								7h6h	0	−280	0	−475
								8g	−60	−415	−60	−810
								8h	0	−355	0	−750

（续）

直径分段 D、d/mm		螺距 P /mm	内螺纹					外螺纹				
			公差带	中径 D_2		小径 D_1		公差带	中径 d_2		大径 d	
>	≤			ES	EI	ES	EI		es	ei	es	ei
22.4	45	4.5	4H	+200	0	+425	0	3h4h	0	-118	0	-315
			4H5H	+200	0	+530	0	4h	0	-150	0	-315
			5G	+313	+63	+593	+63	5g6g	-63	-253	-63	-563
			5H	+250	0	+530	0	5h4h	0	-190	0	-315
			5H6H	+250	0	+670	0	5h6h	0	-190	0	-500
			6G	+378	+63	+733	+63	6e	-100	-336	-100	-600
			6H	+315	0	+670	0	6f	-80	-311	-80	-580
			7G	+463	+63	+913	+63	6g	-63	-299	-63	-563
			7H	+400	0	+850	0	6h	0	-236	0	-500
								7g6g	-63	-363	-63	-563
								7h6h	0	-300	0	-500
								8g	-63	-438	-63	-863
								8h	0	-375	0	-800

纹，可以省略标注其螺距项；多线螺纹的尺寸代号为“公称直径×Ph 导程 P 螺距”，公称直径、导程和螺距的单位为 mm。可在后面增加括号说明线数（英文）。

公差带代号包含中径和顶径公差带代号，中径公差带代号在前，顶径公差带代号在后，内螺纹用大写字母，外螺纹用小写字母。如果中径公差带代号与顶径公差带代号相同，则只标注一个公差带代号。螺纹尺寸代号与公差带间用“-”号分开。

大批生产的紧固件螺纹（中等公差精度和中等旋合长度，6H/6g）不标注公差带代号。

表示螺纹配合时，内螺纹公差带代号在前，外螺纹公差带代号在后，中间用斜线分开。

对旋合长度为短组和长组的螺纹，在公差带代号后应分别标注“S”和“L”代号。旋合长度代号与公差带间用“-”号分开。中等旋合长度组不标注旋合长度代号（N）。

左旋螺纹应在旋合长度代号之后标注“LH”代号。旋合长度代号与旋向代号间用“-”号分开。右旋螺纹不标注旋向代号。

2）标记示例。

① 普通螺纹特征代号和尺寸代号部分的标注：

a. 公称直径为 8mm、螺距为 1mm 的单线细牙螺纹：M8×1。

b. 公称直径为 8mm、螺距为 1.25mm 的单线粗牙螺纹：M8。

c. 公称直径为 16mm、螺距为 1.5mm、导程为 3mm

的双线螺纹：

M16×Ph3P1.5 或 M16×Ph3P1.5（two starts）。

② 增加公差带代号后的标注：

a. 中径公差带为 5g、顶径公差带为 6g 的外螺纹：M10×1-5g6g。

b. 中径公差带和顶径公差带均为 6g 的粗牙外螺纹：M10-6g。

c. 中径公差带为 5H、顶径公差带为 6H 的内螺纹：M10×1-5H6H。

d. 中径公差带和顶径公差带均为 6H 的粗牙内螺纹：M10-6H。

e. 中径公差带和顶径公差带均为 6g、中等公差精度的粗牙外螺纹：M10。

f. 中径公差带和顶径公差带均为 6H、中等公差精度的粗牙内螺纹：M10。

g. 公差带为 6H 的内螺纹与公差带为 5g6g 的外螺纹组成配合：M20×2-6H/5g6g。

h. 公差带为 6H 的内螺纹与公差带为 6g 的外螺纹组成配合（中等精度、粗牙）：M6。

③ 增加旋合长度代号后的标注：

a. 短旋合长度的内螺纹：M20×2-5H-S。

b. 长旋合长度的内、外螺纹：M6-7H/7g6g-L。

c. 中等旋合长度的外螺纹（粗牙、中等精度的 6g 公差带）：M6。

④ 增加旋向代号后的标注（完整标记）：

a. 左旋螺纹：M8×1-LH（公差带代号和旋合长度

代号被省略）；

M6 ×0. 75-5h6h-S-LH；

M14 × Ph6P2-7H-L-LH 或 M14 × Ph6P2（three starts）-7H-L-LH。

b. 右旋螺纹：M6（螺距、公差带代号、旋合长度代号和旋向代号被省略）。

2. 梯形螺纹（30°）（Tr）

（1）梯形螺纹牙型（GB/T 5796. 1—2005）

标准规定了两种梯形螺纹牙型，即基本牙型和最大实体牙型。

1）基本牙型即理论牙型，它是由顶角为30°的原始等腰三角形，截去顶部和底部所形成的内、外螺纹共有的牙型（图 10-4）。

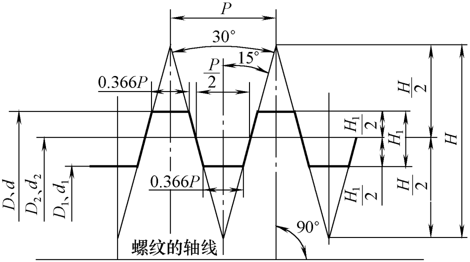


图 10-4　梯形螺纹基本牙型

D—内螺纹大径　d_2—外螺纹中径　*P*—螺距　*d*—外螺纹大径（公称直径）　D_1—内螺纹小径　*H*—原始三角形高度　D_2—内螺纹中径　d_1—外螺纹小径　H_1—基本牙型高度

2）最大实体牙型即设计牙型。设计牙型与基本牙型的不同点为大径和小径间都留有一定间隙，牙顶、牙底给出了制造所需的圆弧。设计牙型及基本尺寸的代号见图 10-5。

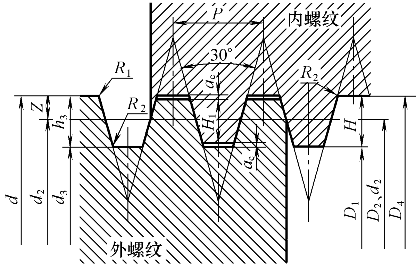


图 10-5　设计牙型及基本尺寸的代号

外螺纹大径	d
螺距	P
牙顶间隙	a_c
基本牙型高度	$H_1=0.5P$
外螺纹牙高	$h_3=H_1+a_c=0.5P+a_c$
内螺纹牙高	$H_4=H_1+a_c=0.5P+a_c$
牙顶高	$Z=0.25P=H_1/2$
外螺纹中径	$d_2=d-2Z=d-0.5P$
内螺纹中径	$D_2=d-2Z=d-0.5P$
外螺纹小径	$d_3=d-2h_3$
内螺纹小径	$D_1=d-2H_1=d-P$
内螺纹大径	$D_4=d+2a_c$
外螺纹牙顶圆角	$R_{1max}=0.5a_c$
牙底圆角	$R_{2max}=a_c$

（2）梯形螺纹直径与螺距系列表（表 10-9）

表 10-9　梯形螺纹直径与螺距表（GB/T 5796. 2—2005）

（单位：mm）

公称直径			螺距 P	公称直径			螺距 P
第一系列	第二系列	第三系列		第一系列	第二系列	第三系列	
8			1. 5	44			12，**7**，3
	9		**2**，1. 5		46		12，**8**，3
10			**2**，1. 5	48			12，**8**，3
	11		3，**2**		50		12，**8**，3
12			**3**，2	52			12，**8**，3
	14		**3**，2		55		14，**9**，3
16			**4**，2	60			14，**9**，3
	18		**4**，2		65		16，**10**，4
20			**4**，2	70			16，**10**，4
	22		8，**5**，3		75		16，**10**，4
24			8，**5**，3	80			16，**10**，4
	26		8，**5**，3		85		18，**12**，4
28			8，**5**，3	90			18，**12**，4
	30		10，**6**，3		95		18，**12**，4
32			10，**6**，3	100			20，**12**，4
	34		10，**6**，3			105	20，**12**，4
36			10，**6**，3		110		20，**12**，4
	38		10，**7**，3			115	22，**14**，6
40			10，**7**，3	120			22，**14**，6
	42		10，**7**，3			125	22，**14**，6

（续）

公称直径 第一系列	公称直径 第二系列	公称直径 第三系列	螺距 P
	130		22，**14**，6
		135	24，**14**，6
140			24，**14**，6
		145	24，**14**，6
	150		24，**16**，6
		155	24，**16**，6
160			28，**16**，6
		165	28，**16**，6
	170		28，**16**，6
		175	28，**16**，8
180			28，**18**，8
		185	32，**18**，8
	190		32，**18**，8

公称直径 第一系列	公称直径 第二系列	公称直径 第三系列	螺距 P
		195	32，**18**，8
200			32，**18**，8
	210		36，**20**，8
220			36，**20**，8
	230		36，**20**，8
240			36，**22**，8
	250		40，**22**，12
260			40，**22**，12
	270		40，**24**，12
280			40，**24**，12
	290		44，**24**，12
300			44，**24**，12

注：应优先选用第一系列直径。应先选用黑体字螺距。

（3）梯形螺纹基本尺寸（表 10-10）

（4）梯形螺纹公差（GB/T 5796.4—2005）⊖

表 10-10 梯形螺纹基本尺寸（GB/T 5796.3—2005）

（单位：mm）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
8			1.5	7.250	8.300	6.200	6.500
	9		1.5 2	8.250 8.000	9.300 9.500	7.200 6.500	7.500 7.000
10			1.5 2	9.250 9.000	10.300 10.500	8.200 7.500	8.500 8.000
	11		2 3	10.000 9.500	11.500 11.500	8.500 7.500	9.000 8.000
12			2 3	11.000 10.500	12.500 12.500	9.500 8.500	10.000 9.000
	14		2 3	13.000 12.500	14.500 14.500	11.500 10.500	12.000 11.000
16			2 4	15.000 14.000	16.500 16.500	13.500 11.500	14.000 12.000
	18		2 4	17.000 16.000	18.500 18.500	15.500 13.500	16.000 14.000
20			2 4	19.000 18.000	20.500 20.500	17.500 15.500	18.000 16.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	22		3 5 8	20.500 19.500 18.000	22.500 22.500 23.000	18.500 16.500 13.000	19.000 17.000 14.000
24			3 5 8	22.500 21.500 20.000	24.500 24.500 25.000	20.500 18.500 15.000	21.000 19.000 16.000
	26		3 5 8	24.500 23.500 22.000	26.500 26.500 27.000	22.500 20.500 17.000	23.000 21.000 18.000
28			3 5 8	26.500 25.500 24.000	28.500 28.500 29.000	24.500 22.500 19.000	25.000 23.000 20.000
	30		3 6 10	28.500 27.000 25.000	30.500 31.000 31.000	26.500 23.000 19.000	27.000 24.000 20.000
32			3 6 10	30.500 29.000 27.000	32.500 33.000 33.000	28.500 25.000 21.000	29.000 26.000 22.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	34		3 6 10	32.500 31.000 29.000	34.500 35.000 35.000	30.500 27.000 23.000	31.000 28.000 24.000
36			3 6 10	34.500 33.000 31.000	36.500 37.000 37.000	32.500 29.000 25.000	33.000 30.000 26.000
	38		3 7 10	36.500 34.500 33.000	38.500 39.000 39.000	34.500 30.000 27.000	35.000 31.000 28.000
40			3 7 10	38.500 36.500 35.000	40.500 41.000 41.000	36.500 32.000 29.000	37.000 33.000 30.000
	42		3 7 10	40.500 38.500 37.000	42.500 43.000 43.000	38.500 34.000 31.000	39.000 35.000 32.000
44			3 7 12	42.500 40.500 38.000	44.500 45.000 45.000	40.500 36.000 31.000	41.000 37.000 32.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	46		3 8 12	44.500 42.000 40.000	46.500 47.000 47.000	42.500 37.000 33.000	43.000 38.000 34.000
48			3 8 12	46.500 44.000 42.000	48.500 49.000 49.000	44.500 39.000 35.000	45.000 40.000 36.000
	50		3 8 12	48.500 46.000 44.000	50.500 51.000 51.000	46.500 41.000 37.000	47.000 42.000 38.000
52			3 8 12	50.500 48.000 46.000	52.500 53.000 53.000	48.500 43.000 39.000	49.000 44.000 40.000
	55		3 9 14	53.500 50.500 48.000	55.500 56.000 57.000	51.500 45.000 39.000	52.000 46.000 41.000
60			3 9 14	58.500 55.500 53.000	60.500 61.000 62.000	56.500 50.000 44.000	57.000 51.000 46.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	65		4 10 16	63.000 60.000 57.000	65.500 66.000 67.000	60.500 54.000 47.000	61.000 55.000 49.000
70			4 10 16	68.000 65.000 62.000	70.500 71.000 72.000	65.500 59.000 52.000	66.000 60.000 54.000
	75		4 10 16	73.000 70.000 67.000	75.500 76.000 77.000	70.500 64.000 57.000	71.000 65.000 59.000
80			4 10 16	78.000 75.000 72.000	80.500 81.000 82.000	75.500 69.000 62.000	76.000 70.000 64.000
	85		4 12 18	83.000 79.000 76.000	85.500 86.000 87.000	80.500 72.000 65.000	81.000 73.000 67.000
90			4 12 18	88.000 84.000 81.000	90.500 91.000 92.000	85.500 77.000 70.000	86.000 78.000 72.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
	95		4	93.000	95.500	90.500	91.000
			12	89.000	96.000	82.000	83.000
			18	86.000	97.000	75.000	77.000
100			4	98.000	100.500	95.500	96.000
			12	94.000	101.000	87.000	88.000
			20	90.000	102.000	78.000	80.000
		105	4	103.000	105.500	100.500	101.000
			12	99.000	106.000	92.000	93.000
			20	95.000	107.000	83.000	85.000
	110		4	108.000	110.500	105.500	106.000
			12	104.000	111.000	97.000	98.000
			20	100.000	112.000	88.000	90.000
		115	6	112.000	116.000	108.000	109.000
			14	108.000	117.000	99.000	101.000
			22	104.000	117.000	91.000	93.000
120			6	117.000	121.000	113.000	114.000
			14	113.000	122.000	104.000	106.000
			22	109.000	122.000	96.000	98.000

（续）

公称直径 d			螺距 P	中径 $d_2=D_2$	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列	第三系列				d_3	D_1
		125	6 14 22	122.000 118.000 114.000	126.000 127.000 127.000	118.000 109.000 101.000	119.000 111.000 103.000
	130		6 14 22	127.000 123.000 119.000	131.000 132.000 132.000	123.000 114.000 106.000	124.000 116.000 108.000
		135	6 14 24	132.000 128.000 123.000	136.000 137.000 137.000	128.000 119.000 109.000	129.000 121.000 111.000
140			6 14 24	137.000 133.000 128.000	141.000 142.000 142.000	133.000 124.000 114.000	134.000 126.000 116.000
		145	6 14 24	142.000 138.000 133.000	146.000 147.000 147.000	138.000 129.000 119.000	139.000 131.000 121.000
	150		6 16 24	147.000 142.000 138.000	151.000 152.000 152.000	143.000 132.000 124.000	144.000 134.000 126.000

1）公差带位置与基本偏差。

内螺纹大径 D_4、中径 D_2 和小径 D_1 的公差带位置为 H，其基本偏差 EI 为零，见图 10-6。

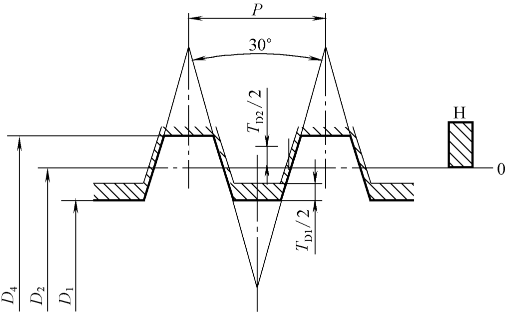


图 10-6　内螺纹的公差带位置

外螺纹中径 d_2 的公差带位置为 e 和 c，其基本偏差 es 为负值；外螺纹大径 d 和小径 d_3 的公差带位置为 h，其基本偏差 es 为零，见图 10-7。

外螺纹大径和小径的公差带基本偏差为零，与中径公差带位置无关。

2）内、外螺纹中径的基本偏差见表 10-11。

3）内、外螺纹各直径公差等级见表 10-12。

4）内螺纹小径公差见表 10-13。

5）外螺纹大径公差见表 10-14。

6）内螺纹中径公差见表 10-15。

7）外螺纹中径公差见表 10-16。

8）外螺纹小径公差见表 10-17。

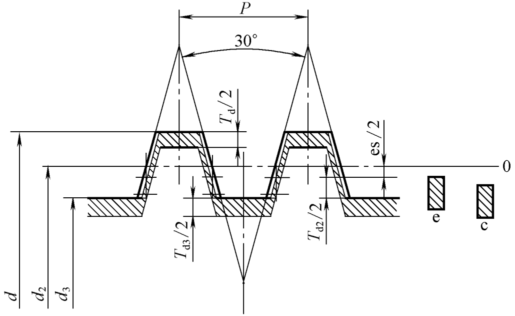


图 10-7　外螺纹的公差带位置

表 10-11　内、外螺纹中径的基本偏差

（单位：μm）

螺距 P /mm	内螺纹 D_2 H EI	外螺纹 d_2 c es	外螺纹 d_2 e es	螺距 P /mm	内螺纹 D_2 H EI	外螺纹 d_2 c es	外螺纹 d_2 e es
1.5	0	−140	−67	14	0	−355	−180
2	0	−150	−71	16	0	−375	−190
3	0	−170	−85	18	0	−400	−200
4	0	−190	−95	20	0	−425	−212
5	0	−212	−106	22	0	−450	−224
6	0	−286	−118	24	0	−475	−236
7	0	−250	−125	28	0	−500	−250
8	0	−265	−132	32	0	−530	−265
9	0	−280	−140	36	0	−560	−280
10	0	−300	−150	40	0	−600	−300
12	0	−335	−160	44	0	−630	−315

表 10-12　内、外螺纹各直径公差等级

直　　径	公差等级	直　　径	公差等级
内螺纹小径 D_1	4	外螺纹中径 d_2	7、8、9
外螺纹大径 d	4	外螺纹小径 d_3	7、8、9
内螺纹中径 D_2	7、8、9		

注：梯形螺纹公差等级中，增加了外螺纹小径公差，主要是为了保证牙顶间隙和螺纹的强度。

表 10-13　内螺纹小径公差 T_{D1}

螺距 P/mm	4 级公差/μm	螺距 P/mm	4 级公差/μm
1.5	190	16	1000
2	236	18	1120
3	315	20	1180
4	375	22	1250
5	450	24	1320
6	500	28	1500
7	560	32	1600
8	630	36	1800
9	670	40	1900
		44	2000
10	710		
12	800		
14	900		

表 10-14　外螺纹大径公差 T_d

螺距 P/mm	4 级公差/μm	螺距 P/mm	4 级公差/μm
1. 5	150	16	710
2	180	18	800
3	236	20	850
4	300	22	900
5	335	24	950
6	375	28	1060
7	425	32	1120
8	450	36	1250
9	500	40	1320
10	530	44	1400
12	600		
14	670		

表 10-15　内螺纹中径公差 T_{D2}

（单位：μm）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
5. 6	11. 2	1. 5	224	280	355
		2	250	315	400
		3	280	355	450
11. 2	22. 4	2	265	335	425
		3	300	375	475
		4	355	450	560
		5	375	475	600
		8	475	600	750

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
22.4	45	3	335	425	530
		5	400	500	630
		6	450	560	710
		7	475	600	750
		8	500	630	800
		10	530	670	850
		12	560	710	900
45	90	3	355	450	560
		4	400	500	630
		8	530	670	850
		9	560	710	900
		10	560	710	900
		12	630	800	1 000
		14	670	850	1 060
		16	710	900	1 120
		18	750	950	1 180
90	180	4	425	530	670
		6	500	630	800
		8	560	710	900
		12	670	850	1 060
		14	710	900	1 120
		16	750	950	1 180
		18	800	1 000	1 250

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公 差 等 级		
>	≤		7	8	9
90	180	20	800	1 000	1 250
		22	850	1 060	1 320
		24	900	1 120	1 400
		28	950	1 180	1 500
180	355	8	600	750	950
		12	710	900	1 120
		18	850	1 060	1 320
		20	900	1 120	1 400
		22	900	1 120	1 400
		24	950	1 180	1 500
		32	1 060	1 320	1 700
		36	1 120	1 400	1 800
		40	1 120	1 400	1 800
		44	1 250	1 500	1 900

表 10-16　外螺纹中径公差 T_{d2}

（单位：μm）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公 差 等 级		
>	≤		7	8	9
5.6	11.2	1.5	170	212	265
		2	190	236	300
		3	212	265	335

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
11.2	22.4	2	200	250	315
		3	224	280	355
		4	265	335	425
		5	280	355	450
		8	355	450	560
22.4	45	3	250	315	400
		5	300	375	475
		6	335	425	530
		7	355	450	560
		8	375	475	600
		10	400	500	630
		12	425	530	670
45	90	3	265	335	425
		4	300	375	475
		8	400	500	630
		9	425	530	670
		10	425	530	670
		12	475	600	750
		14	500	630	800
		16	530	670	850
		18	560	710	900

（续）

公称直径 d/mm		螺距 P /mm	公差等级		
>	≤		7	8	9
90	180	4	315	400	500
		6	375	475	600
		8	425	530	670
		12	500	630	800
		14	530	670	850
		16	560	710	900
		18	600	750	950
		20	600	750	950
		22	630	800	1 000
		24	670	850	1 060
		28	710	900	1 120
180	355	8	450	560	710
		12	530	670	850
		18	630	800	1 000
		20	670	850	1 060
		22	670	850	1 060
		24	710	900	1 120
		32	800	1 000	1 250
		36	850	1 060	1 320
		40	850	1 060	1 320
		44	900	1 120	1 400

表 10-17　外螺纹小径公差 T_{d3}

（单位：μm）

公称直径 d /mm		螺距 P /mm	中径公差带位置为 c			中径公差带位置为 e		
			公差等级			公差等级		
>	≤		7	8	9	7	8	9
5.6	11.2	1.5	352	405	471	279	332	398
		2	388	445	525	309	366	446
		3	435	501	589	350	416	504
11.2	22.4	2	400	462	544	321	383	465
		3	450	520	614	365	435	529
		4	521	609	690	426	514	595
		5	562	656	775	456	550	669
		8	709	828	965	576	695	832
22.4	45	3	482	564	670	397	479	585
		5	587	681	806	481	575	700
		6	655	767	899	537	649	781
		7	694	813	950	569	688	825
		8	734	859	1 015	601	726	882
		10	800	925	1 087	650	775	937
		12	866	998	1 223	691	823	1 048
45	90	3	501	589	701	416	504	616
		4	565	659	784	470	564	689
		8	765	890	1 052	632	757	919
		9	811	943	1 118	671	803	978
		10	831	963	1 138	681	813	988
		12	929	1 085	1 273	754	910	1 098

（续）

公称直径 d /mm		螺距 P /mm	中径公差带位置为 c			中径公差带位置为 e		
			公差等级			公差等级		
>	≤		7	8	9	7	8	9
45	90	14	970	1 142	1 355	805	967	1 180
		16	1 038	1 213	1 438	853	1 028	1 253
		18	1 100	1 288	1 525	900	1 088	1 320
90	180	4	584	690	815	489	595	720
		6	705	830	986	587	712	868
		8	796	928	1 103	663	795	970
		12	960	1 122	1 335	785	947	1 160
		14	1 018	1 193	1 418	843	1 018	1 243
		16	1 075	1 263	1 500	890	1 078	1 315
		18	1 150	1 338	1 588	950	1 138	1 388
		20	1 175	1 363	1 613	962	1 150	1 400
		22	1 232	1 450	1 700	1 011	1 224	1 474
		24	1 313	1 538	1 800	1 074	1 299	1 561
		28	1 388	1 625	1 900	1 138	1 375	1 650
180	355	8	828	965	1 153	695	832	1 020
		12	998	1 173	1 398	823	998	1 223
		18	1 187	1 400	1 650	987	1 200	1 450
		20	1 263	1 488	1 750	1 050	1 275	1 537
		22	1 288	1 513	1 775	1 062	1 287	1 549
		24	1 363	1 600	1 875	1 124	1 361	1 636

（续）

公称直径 d /mm		螺距 P /mm	中径公差带位置为 c			中径公差带位置为 e		
			公差等级			公差等级		
>	≤		7	8	9	7	8	9
180	355	32	1 530	1 780	2 092	1 265	1 515	1 827
		36	1 623	1 885	2 210	1 343	1 605	1 930
		40	1 663	1 925	2 250	1 363	1 625	1 950
		44	1 755	2 030	2 380	1 440	1 715	2 065

9）多线螺纹中径公差系数。多线螺纹的顶径公差和底径公差与单线螺纹相同。多线螺纹的中径公差是在单线螺纹中径公差的基础上，按线数不同分别乘以系数而得。系数见表 10-18。

表 10-18　多线螺纹中径公差系数

线　　数	2	3	4	≥5
系　　数	1.12	1.25	1.4	1.6

10）螺纹公差带的选用。由于标准中对内螺纹小径 D_1 和外螺纹大径 d 只规定了一种公差带（4H、4h），标准中还规定了外螺纹小径 d_3 的公差带位置永远为 h，公差等级数与中径公差等级数相同，所以梯形螺纹仅选择并标记中径公差带，来表示梯形螺纹公差带。

标准中对梯形螺纹规定了中等和粗糙两种精度，对一般用途的梯形螺纹选择中等精度，对精度要求不高的选用粗糙的精度等级。

内、外梯形螺纹选用的公差带见表 10-19。

表 10-19　内、外梯形螺纹公差带的选用

精　　度	内螺纹		外螺纹	
	N	L	N	L
中等	7H	8H	7e	8e
粗糙	8H	9H	8c	9c

（5）螺纹旋合长度

旋合长度按公称直径和螺距的大小分为中等旋合长度 N 和长旋合长度 L 两组（表 10-20）。

表 10-20　螺纹旋合长度

（单位：mm）

公称直径 *d*		螺距 *P*	旋合长度组		
			N		L
>	≤		>	≤	>
5.6	11.2	1.5 2 3	5 6 10	15 19 28	15 19 28
11.2	22.4	2 3 4 5 8	8 11 15 18 30	24 32 43 53 85	24 32 43 53 85

（续）

公称直径 d		螺距 P	旋合长度组		
			N		L
>	≤		>	≤	>
22.4	45	3 5 6	12 21 25	36 63 75	36 63 75
		7 8 10 12	30 34 42 50	85 100 125 150	85 100 125 150
45	90	3 4 8	15 19 38	45 56 118	45 56 118
		9 10 12	43 50 60	132 140 170	132 140 170
		14 16 18	67 75 85	200 236 265	200 236 265
90	180	4 6 8 12	24 36 45 67	71 106 132 200	71 106 132 200

（续）

公称直径 d		螺距 P	旋合长度组		
			N		L
>	≤		>	≤	>
90	180	14 16 18	75 90 100	236 265 300	236 265 300
		20 22 24 28	112 118 132 150	335 355 400 450	335 355 400 450
180	355	8 12 18	50 75 112	150 224 335	150 224 335
		20 22 24	125 140 150	375 425 450	375 425 450
		32 36 40 44	200 224 250 280	600 670 750 850	600 670 750 850

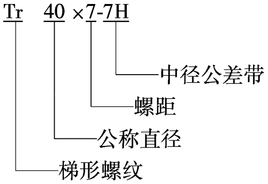
（6）梯形螺纹的代号与标记

在符合 GB/T 5796.1—2005 标准时，梯形螺纹用“Tr”表示。单线螺纹用“公称直径×螺距”表示，多线螺纹用“公称直径×导程（P 螺距）”表示。当螺纹为左旋时，需在尺寸规格之后加注“LH”，右旋不注出。

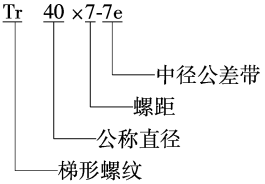
梯形螺纹的标记是由梯形螺纹代号、公差带代号及旋合长度代号组成。梯形螺纹的公差带代号只标注中径公差带。当旋合长度为 N 组时，不标注旋合长度代号。

标记示例：

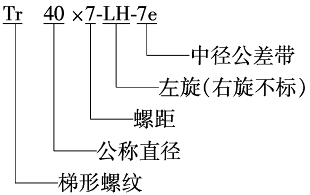
内螺纹



外螺纹

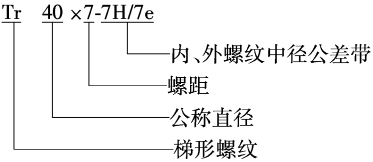


左旋外螺纹

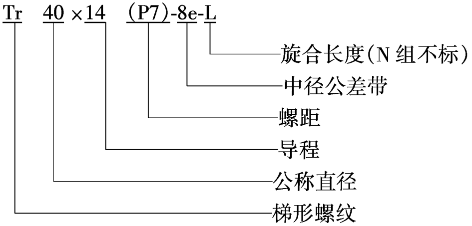


螺纹副的公差带要分别注出内、外公差代号，前者为内螺纹，后者为外螺纹，中间用斜线分开：

螺纹副



当旋合长度为 L 组时，组别代号 L 写在公差带代号的后面，并用“-”隔开：



3. 55°管螺纹

（1）55°密封管螺纹

55°密封管螺纹（GB/T 7306—2000）标准规定连接形式有两种，即圆锥内螺纹与圆锥外螺纹连接和圆柱内螺纹与圆锥外螺纹的连接。两种连接形式都具有密封性能，必要时允许在螺纹副内加入密封填料。

1）牙型及要素名称代号。

① 圆锥螺纹基本牙型见图 10-8。

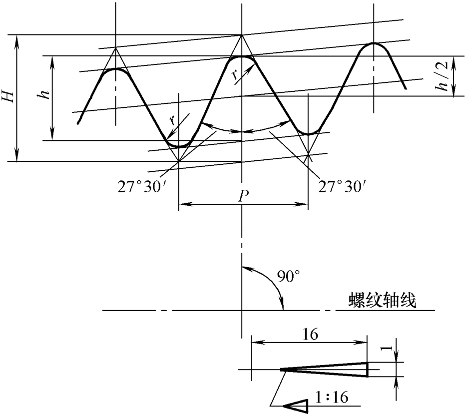


图 10-8　圆锥螺纹基本牙型

$$P=\frac{25.4}{n}\quad H=0.960237P$$

$$h=0.640327P\quad r=0.137278P$$

n—每 25.4mm 内的牙数

② 圆柱内螺纹基本牙型见图 10-9。

③ 要素名称及代号见表 10-21。

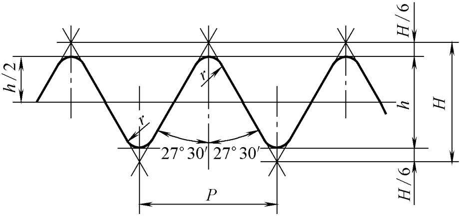


图 10-9 圆柱内螺纹基本牙型

$$P=\frac{25.4}{n} \quad H=0.960491P \quad h=0.640327P$$

$$r=0.137329P \quad \frac{H}{6}=0.160082P$$

表 10-21 要素名称及代号

名　　称	代号	名　　称	代号
内螺纹大径	D	原始三角形高度	H
外螺纹大径	d	牙型高度	h
内螺纹中径	D_2	圆弧半径	r
外螺纹中径	d_2	每 25.4mm 内的螺纹牙数	n
内螺纹小径	D_1	基准距离公差	T_1
外螺纹小径	d_1	圆锥内螺纹基准平面轴向位移公差	T_2
螺距	P		

2）螺纹的基本尺寸。圆锥管螺纹的尺寸在基准平面上给出，与圆锥外螺纹配合的圆柱内螺纹尺寸与同规格的圆锥内螺纹基面上的尺寸相同。

螺纹中径和小径的数值按下列公式计算：

$$d_2=D_2=d-0.640327P$$

$$d_1=D_1=d-1.280654P$$

螺纹的基本尺寸及其公差见表 10-22。

3）基准平面位置。圆锥外螺纹基准平面的理论位置垂直于螺纹轴线，位于与小端面（参照平面）相距一个基准距离的平面内（图 10-10）；圆锥内螺纹、圆柱内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线深入端面（参照平面）以内 0. 5P 的平面内（图 10-11）。

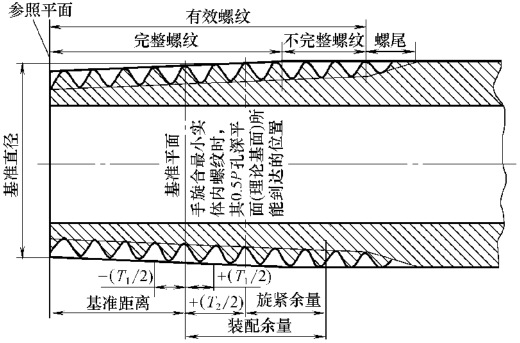


图 10-10　圆锥外螺纹上各主要尺寸的分布位置

圆锥外螺纹小端面和圆锥内螺纹大端面的倒角轴向长度不得大于 1P。

圆柱内螺纹外端面的倒角轴向长度不得大于 1P。

4）螺纹长度。圆锥外螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准距离的实际值与装配余量之和。对应基准距离为最大、基本和最小尺寸的三种情况见表 10-22 的第 16、15 和 17 项。

当圆锥（圆柱）内螺纹的尾部未采用退刀结构时，

表 10-22　螺纹的基本

1	2	3	4	5	6	7
尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙高 h /mm	基准平面内的基本直径/mm		
				大径（基准直径）$d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291
$1^1/_4$	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952
$1^1/_2$	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656
$2^1/_2$	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872

尺寸及其公差

8	9	10	11	12	13	14
基准距离/mm					装配余量	
基本	极限偏差 ±$T_1/2$		最大	最小		
		圈数			/mm	圈数
4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	$2^3/_4$
4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	$2^3/_4$
6	1.3	1	7.3	4.7	3.7	$2^3/_4$
6.4	1.3	1	7.7	5.1	3.7	$2^3/_4$
8.2	1.8	1	10.0	6.4	5.0	$2^3/_4$
9.5	1.8	1	11.3	7.7	5.0	$2^3/_4$
10.4	2.3	1	12.7	8.1	6.4	$2^3/_4$
12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	$2^3/_4$
12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	$2^3/_4$
15.9	2.3	1	18.2	13.6	7.5	$3^1/_4$
17.5	3.5	$1^1/_2$	21.0	14.0	9.2	4
20.6	3.5	$1^1/_2$	24.1	17.1	9.2	4
25.4	3.5	$1^1/_2$	28.9	21.9	10.4	$4^1/_2$
28.6	3.5	$1^1/_2$	32.1	25.1	11.5	5
28.6	3.5	$1^1/_2$	32.1	25.1	11.5	5

（续）

15	16	17	18	19	20	21
外螺纹的有效螺纹不小于/mm			圆锥内螺纹基准平面轴向位置的极限偏差 $\pm T_2/2$		圆柱内螺纹直径的极限偏差 $\pm T_2/2$	
基准距离分别为						
基本	最大	最小	/mm	圈数	径向 /mm	轴向圈数
6.5	7.4	5.6	1.1	$1^1/_4$	0.071	$1^1/_4$
6.5	7.4	5.6	1.1	$1^1/_4$	0.071	$1^1/_4$
9.7	11	8.4	1.7	$1^1/_4$	0.104	$1^1/_4$
10.1	11.4	8.8	1.7	$1^1/_4$	0.104	$1^1/_4$
13.2	15	11.4	2.3	$1^1/_4$	0.142	$1^1/_4$
14.5	16.3	12.7	2.3	$1^1/_4$	0.142	$1^1/_4$
16.8	19.1	14.5	2.9	$1^1/_4$	0.180	$1^1/_4$
19.1	21.4	16.8	2.9	$1^1/_4$	0.180	$1^1/_4$
19.1	21.4	16.8	2.9	$1^1/_4$	0.180	$1^1/_4$
23.4	25.7	21.1	2.9	$1^1/_4$	0.180	$1^1/_4$
26.7	30.2	23.2	3.5	$1^1/_2$	0.216	$1^1/_2$
29.8	33.3	26.3	3.5	$1^1/_2$	0.216	$1^1/_2$
35.8	39.3	32.3	3.5	$1^1/_2$	0.216	$1^1/_2$
40.1	43.6	36.6	3.5	$1^1/_2$	0.216	$1^1/_2$
40.1	43.6	36.6	3.5	$1^1/_2$	0.216	$1^1/_2$

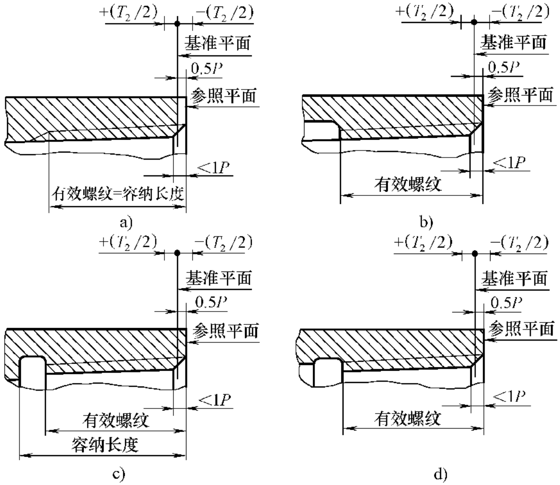


图 10-11　圆锥（圆柱）内螺纹上各主要尺寸的分布位置

其最小有效螺纹长度应能容纳具有表 10-22 中第 16 项长度的圆锥外螺纹；当圆锥（圆柱）内螺纹的尾部采用退刀结构时，应能容纳具有表 10-22 中第 16 项长度的圆锥外螺纹，其最小有效螺纹长度应不小于表 10-22 中第 17 项规定长度的 80%（图 10-11）。

5）公差。圆锥外螺纹基准距离的极限偏差（$\pm T_1/2$）应符合表 10-22 中第 9、10 项的规定。

圆锥内螺纹基准平面位置的极限偏差（$\pm T_2/2$）应符合表 10-22 中第 18、19 项的规定。

圆柱内螺纹各直径的极限偏差应符合表 10-22 中第 20、21 项的规定。

6）螺纹代号及标记示例。螺纹特征代号：

R_c——圆锥内螺纹；

R_p——圆柱内螺纹；

R_1——与 R_p 配合使用的圆锥外螺纹；

R_2——与 R_c 配合使用的圆锥外螺纹。

螺纹尺寸代号为表 10-22 中第一项所规定的分数或整数。

标记示例：

尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥内螺纹的标记为 R_c3/4。

尺寸代号为 3/4 的右旋圆柱内螺纹的标记为 R_p3/4。

与 R_c 配合使用的尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥外螺纹的标记为 $R_2$3/4。

与 R_p 配合使用的尺寸代号为 3/4 的右旋圆锥外螺纹的标记为 $R_1$3/4。

当螺纹为左旋时，应在尺寸代号后加注“LH”。如尺寸代号为 3/4 的左旋圆锥内螺纹的标记为 R_c3/4LH。

表示螺纹副时，螺纹特征代号为“R_c/R_2”或“R_p/R_1”。前面为内螺纹的特征代号，后面为外螺纹的特征代号，中间用斜线分开。

圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合：R_c3/4/$R_2$3/4；

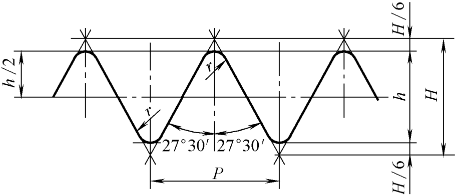
圆柱内螺纹与圆锥外螺纹的配合：R_p3/4/$R_1$3/4；

左旋圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合：R_c3/4/$R_2$3/4LH。

（2）55°非密封管螺纹

55°非密封管螺纹（GB/T 7307—2001）标准规定，管螺纹内、外螺纹均为圆柱螺纹，不具备密封性能（只是作为机械连接用)。若要求连接后具有密封性能，可在螺纹副外采取其他密封方式。

1）牙型及牙型尺寸的计算见图 10-12。



$$P = \frac{25.4}{n} \quad H = 0.960491P \quad h = 0.640327P$$

$$r = 0.137329P \quad H/6 = 0.160082P$$

式中　n——每 25.4mm 内的螺纹牙数

图 10-12　圆柱管螺纹基本牙型

2）基本尺寸和公差。螺纹中径和小径的基本尺寸按下列公式计算：

$$d_2 = D_2 = d - 0.640327P$$

$$d_1 = D_1 = d - 1.280645P$$

对内螺纹中径只规定一种公差，下偏差为零，上偏差为正。对外螺纹中径公差分为 A 和 B 两个等级，上偏差为零，下偏差为负。螺纹的牙顶在给出的公差范围内允许削平。

圆柱管螺纹的基本尺寸和公差见表 10-23。

公差带的分布情况见图 10-13。

表 10-23 螺纹的基

螺纹的尺寸代号	每25.4mm内的牙数 n	螺距 P	牙型高度 h	圆弧半径 $r\approx$	基本尺寸		
					大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$
1/16	28	0.907	0.581	0.125	7.723	7.142	6.561
1/8	28	0.907	0.581	0.125	9.728	9.147	8.566
1/4	19	1.337	0.856	0.184	13.157	12.301	11.445
3/8	19	1.337	0.856	0.184	16.662	15.806	14.950
1/2	14	1.814	1.162	0.249	20.955	19.793	18.631
5/8	14	1.814	1.162	0.249	22.911	21.749	20.587
3/4	14	1.814	1.162	0.249	26.441	25.279	24.117
7/8	14	1.814	1.162	0.249	30.201	29.039	27.877
1	11	2.309	1.479	0.317	33.249	31.770	30.291
1⅛	11	2.309	1.479	0.317	37.897	36.418	34.939
1¼	11	2.309	1.479	0.317	41.910	40.431	38.952
1½	11	2.309	1.479	0.317	47.803	46.324	44.845
1¾	11	2.309	1.479	0.317	53.746	52.267	50.788
2	11	2.309	1.479	0.317	59.614	58.135	56.656
2¼	11	2.309	1.479	0.317	65.710	64.231	62.752
2½	11	2.309	1.479	0.317	75.184	73.705	72.226
2¾	11	2.309	1.479	0.317	81.534	80.055	78.576
3	11	2.309	1.479	0.317	87.884	86.405	84.926
3½	11	2.309	1.479	0.317	100.330	98.851	97.372
4	11	2.309	1.479	0.317	113.030	111.551	110.072
4½	11	2.309	1.479	0.317	125.730	124.251	122.772
5	11	2.309	1.479	0.317	138.430	136.951	135.472
5½	11	2.309	1.479	0.317	151.130	149.651	148.172
6	11	2.309	1.479	0.317	163.830	162.351	160.872

① 对薄壁管件，此公差适用于平均中径，该中径是测量

本尺寸和公差

（单位：mm）

外螺纹					内螺纹			
大径公差 T_d		中径公差 T_{d2}①			中径公差 T_{D2}①		小径公差 T_{D1}	
下偏差	上偏差	下偏差 A级	下偏差 B级	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差	上偏差
−0.214	0	−0.107	−0.214	0	0	+0.107	0	+0.282
−0.214	0	−0.107	−0.214	0	0	+0.107	0	+0.282
−0.250	0	−0.125	−0.250	0	0	+0.125	0	+0.445
−0.250	0	−0.125	−0.250	0	0	+0.125	0	+0.445
−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
−0.284	0	−0.142	−0.284	0	0	+0.142	0	+0.541
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.360	0	−0.180	−0.360	0	0	+0.180	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640
−0.434	0	−0.217	−0.434	0	0	+0.217	0	+0.640

两个互相垂直直径的算术平均值。

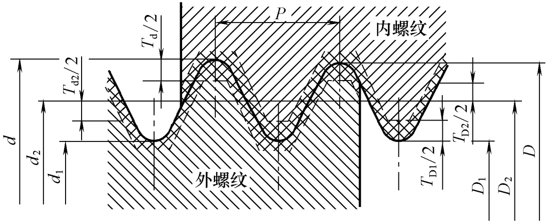


图 10-13　螺纹公差带的位置

3）螺纹代号及标记示例。圆柱管螺纹的标记由螺纹特征代号、尺寸代号和公差等级代号组成，螺纹特征代号用字母 G 表示。

标记示例：

外螺纹 A 级　$G1^1/_2A$；

外螺纹 B 级　$G1^1/_2B$；

内螺纹　　　$G1^1/_2$。

当螺纹为左旋时，在公差等级代号后加注“LH”，例如$G1^1/_2$-LH，$G1^1/_2$A-LH。

当内、外螺纹装配在一起时，内、外螺纹的标记用斜线分开，左边表示内螺纹，右边表示外螺纹。例如：$G1^1/_2/G1^1/_2A$；$G1^1/_2/G1^1/_2B$。

4. 60°密封管螺纹[㊀]

㊀ 《60°密封管螺纹》（GB/T 12716—2002）等效采用了美国标准 ASME B1. 20. 1：1983（1992）中密封管螺纹的技术内容。但我国标准中调整了圆锥螺纹单项要素的极限偏差值。

GB/T 12716—2002 标准规定了 60°密封管螺纹的牙型角为 60°，锥度为 1∶16，配合后的螺纹副具有密封能力，使用中允许加入密封填料。

内螺纹有圆锥内螺纹和圆柱内螺纹两种，外螺纹仅有圆锥外螺纹一种。内外螺纹可组成两种密封配合形式，即圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合，圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成“柱/锥”配合。

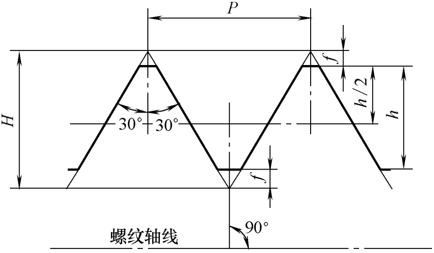
（1）螺纹术语及代号（表 10-24）

表 10-24　螺纹术语及代号

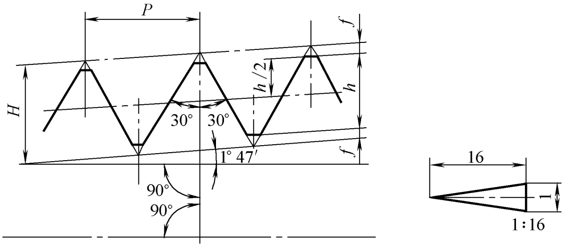
术　　语	代号
内螺纹在基准平面内的大径	D
外螺纹在基准平面内的大径	d
内螺纹在基准平面内的中径	D_2
外螺纹在基准平面内的中径	d_2
内螺纹在基准平面内的小径	D_1
外螺纹在基准平面内的小径	d_1
螺距	P
原始三角形高度	H
螺纹牙型高度	h
每 25.4mm 轴向长度内所包含的螺纹牙数	n
削平高度	f
基准直径	—
基准平面	—
基准距离	L_1
完整螺纹长度	L_5
不完整螺纹长度	L_6
螺尾长度	V
有效螺纹长度	L_2
装配余量	L_3
旋紧余量	L_7

（2）螺纹牙型

圆柱内螺纹的牙型见图 10-14a；圆锥内、外螺纹的牙型见图 10-14b。



a)



b)

图 10-14　螺纹牙型

a）圆柱内螺纹的牙型　b）圆锥内、外螺纹的牙型

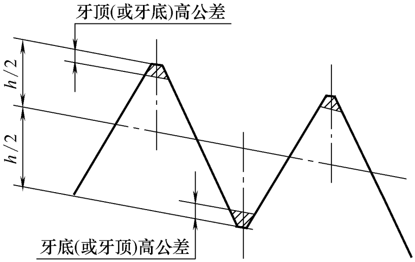
1）牙型尺寸的计算公式。

$$P = \frac{25.4}{n} \quad H = 0.866P$$

$$h = 0.8P \quad f = 0.033P$$

2）牙顶高和牙底高公差见表 10-25。

表 10-25　60°圆锥管螺纹的牙顶高和牙底高公差



每 25.4mm 的螺纹牙数	牙顶高和牙底高公差/mm
27	0.059
18	0.078
14	0.081
11.5	0.088
8	0.092

（3）圆锥管螺纹的基本尺寸及公差

1）圆锥管螺纹各主要尺寸的位置见图 10-15，基本尺寸见表 10-26。

2）基准平面位置。圆锥外螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线、与小端面（参照平面）相距一个基准距离的平面内。内螺纹基准平面的理论位置位于

表 10-26　圆锥管螺纹的基本尺寸

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
螺纹的尺寸代号	25.4mm 内包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙型高度 h /mm	基准平面内的基本直径/mm			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面内的基本小径 /mm
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
1/16	27	0.941	0.752	7.894	7.142	6.389	4.32	4.064	3	2.822	6.137
1/8	27	0.941	0.752	10.242	9.489	8.737	4.36	4.102	3	2.822	8.481
1/4	18	1.411	1.129	13.616	12.487	11.358	4.10	5.785	3	4.233	10.996
3/8	18	1.411	1.129	17.055	15.926	14.797	4.32	6.096	3	4.233	14.417
1/2	14	1.814	1.451	21.224	19.772	18.321	4.48	8.128	3	5.443	17.813
3/4	14	1.814	1.451	26.569	25.117	23.666	4.75	8.618	3	5.443	23.127
1	11.5	2.209	1.767	33.228	31.461	29.694	4.60	10.160	3	6.626	29.060
$1^1/_4$	11.5	2.209	1.767	41.985	40.218	38.451	4.83	10.668	3	6.626	37.785
$1^1/_2$	11.5	2.209	1.767	48.054	46.287	44.520	4.83	10.668	3	6.626	43.853

（续）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
螺纹的尺寸代号	25.4mm 内包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙型高度 h /mm	基准平面内的基本直径/mm			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面内的基本小径 /mm
				大径 $d = D$	中径 $d_2 = D_2$	小径 $d_1 = D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
2	11.5	2.209	1.767	60.092	58.325	56.558	5.01	11.065	3	6.626	55.867
$2^1/_2$	8	3.175	2.540	72.699	70.159	67.619	5.46	17.335	2	6.350	66.535
3	8	3.175	2.540	88.608	86.068	83.528	6.13	19.463	2	6.350	82.311
$3^1/_2$	8	3.175	2.540	101.316	98.776	96.236	6.57	20.860	2	6.350	94.932
4	8	3.175	2.540	113.973	111.433	108.893	6.75	21.431	2	6.350	107.554
5	8	3.175	2.540	140.952	138.412	135.872	7.50	23.812	2	6.350	134.384
6	8	3.175	2.540	167.792	165.252	162.712	7.66	24.320	2	6.350	161.191
8	8	3.175	2.540	218.441	215.901	213.361	8.50	26.988	2	6.350	211.673
10	8	3.175	2.540	272.312	269.772	267.232	9.68	30.734	2	6.350	265.311

（续）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
螺纹的尺寸代号	25.4mm内包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙型高度 h /mm	基准平面内的基本直径/mm			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面内的基本小径/mm
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
12	8	3.175	2.540	323.032	320.492	317.952	10.88	34.544	2	6.350	315.793
14O.D.	8	3.175	2.540	354.904	352.364	349.824	12.50	39.688	2	6.350	347.345
16O.D.	8	3.175	2.540	405.784	403.244	400.704	14.50	46.038	2	6.350	397.828
18O.D.	8	3.175	2.540	456.565	454.025	451.485	16.00	50.800	2	6.350	448.310
20O.D.	8	3.175	2.540	507.246	504.706	502.166	17.00	53.975	2	6.350	498.792
24O.D.	8	3.175	2.540	608.608	606.068	603.528	19.00	60.325	2	6.350	599.758

注：1. 可参照表中第12栏数据选择攻螺纹前的麻花钻直径。

2. 螺纹收尾长度（V）为3.47P。

3. O.D. 是英文管子外径（outside diameter）的缩写。

垂直于螺纹轴线的端面（参考平面）内（图 10-15）。

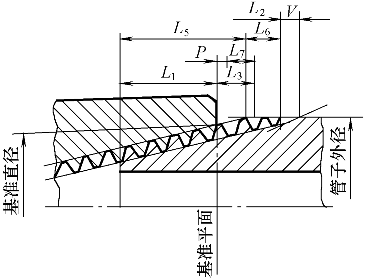


图 10-15　圆锥外螺纹各主要尺寸位置

3）公差。

①　圆锥螺纹基准平面的轴向位置极限偏差为 ± P。

②　大径和小径公差应以保证螺纹牙顶高和牙底高尺寸在所规定的公差范围（表 10-25）。

③　螺纹单项要素公差见表 10-27。

表 10-27　圆锥螺纹的单项要素极限偏差

在 25. 4mm 轴向长度内所包含的牙数 n	中径线锥度（1/16）的极限偏差	有效螺纹的导程累积偏差/mm	牙侧角偏差/（°）
27	+1/96 −1/192	±0. 076	±1. 25
18，14			±1
11. 5，8			±0. 75

注：对有效螺纹长度大于 25. 4mm 的螺纹，其导程累积误差的最大测量跨度为 25. 4mm。

（4）圆柱内螺纹的基本尺寸及公差

1）圆柱内螺纹大径、中径和小径的基本尺寸与圆锥螺纹在基准平面内的大径、中径和小径的基本尺寸相等（表 10-26）。

2）圆柱内螺纹基准平面的理论位置位于垂直于螺纹轴线的端面内。

3）大径和小径公差应以保证螺纹的牙顶高和牙底高尺寸在所规定的公差范围（表 10-25）。

4）圆柱内螺纹基准平面的位置极限偏差为 ±1.5P。

5）螺纹中径在径向所对应的极限尺寸见表 10-28。

表 10-28　圆柱内螺纹的极限尺寸

螺纹的尺寸代号	在 25.4mm 长度内所包含的牙数 n	中径/mm		小径/mm
		max	min	min
1/8	27	9.578	9.401	8.636
1/4	18	12.618	12.355	11.227
3/8	18	16.057	15.794	14.656
1/2	14	19.941	19.601	18.161
3/4	14	25.288	24.948	23.495
1	11.5	31.668	31.255	29.489
1¼	11.5	40.424	40.010	38.252
1½	11.5	46.494	46.081	44.323
2	11.5	58.531	58.118	56.363
2½	8	70.457	69.860	67.310
3	8	86.365	85.771	83.236
3½	8	99.072	98.479	95.936
4	8	111.729	111.135	108.585

注：可参照最小小径数据选择攻螺纹前的麻花钻直径。

（5）有效螺纹的长度

圆锥外螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准距离的实际尺寸与装配余量之和。内螺纹的有效螺纹长度不应小于其基准平面位置的实际偏差、基准距离的基本尺寸与装配余量之和。

（6）倒角对基准平面理论位置的影响

1）在外螺纹的小端面倒角，其基准平面的理论位置不变（图 10-16a）。

2）在内螺纹的大端面倒角，如倒角的直径≤大端面上内螺纹的大径，则基准平面的轴向理论位置不变（图 10-16b）。

3）在内螺纹的大端面倒角，如倒角的直径＞大端面上内螺纹的大径，则基准平面的理论位置位于内螺纹大径圆锥或大径圆柱与倒角圆锥相交的轴向位置处（图 10-16c）。

（7）螺纹特征代号及标记示例

管螺纹的标记由螺纹特征代号和螺纹尺寸代号组成（尺寸代号见表 10-26）。

螺纹特征代号：NPT——圆锥管螺纹；
NPSC——圆柱内螺纹。

标记示例：尺寸代号为 3/4 单位的右旋圆柱内螺纹 NPSC3/4。
尺寸代号为 6 单位的右旋圆锥内螺纹或圆锥外螺纹 NPT6。

当螺纹为左旋时，应在尺寸代号后面加注“LH”。

5. 米制管螺纹（60°）

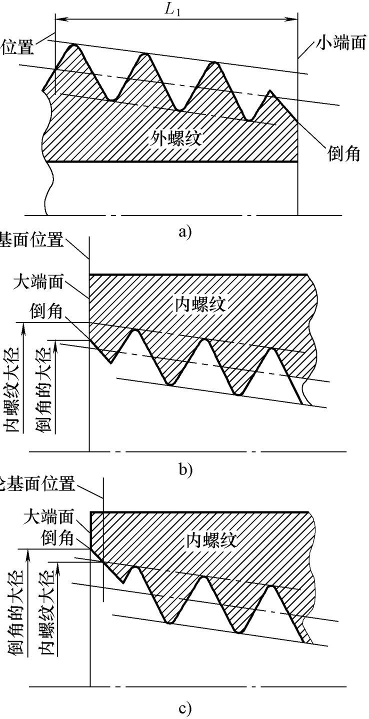


图 10-16　倒角对基准平面理论位置的影响

我国 1978 年颁布了米制密封管螺纹标准（GB 1415）和米制非密封管螺纹标准（GB 1414）普通螺纹

的管路系列。1992 年和 2003 年，我国分别修订了这两项米制管螺纹标准，分别为《米制锥螺纹》GB/T 1415—1992 和《普通螺纹　管路系列》GB/T 1414—2003。

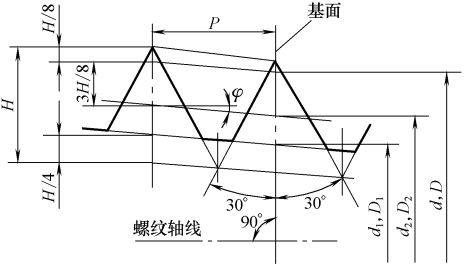
（1）一般密封米制管螺纹（ZM、M）

一般密封米制管螺纹有两种配合方式：圆柱内螺纹与圆锥外螺纹组成“柱/锥”配合；圆锥内螺纹与圆锥外螺纹组成“锥/锥”配合。为了提高密封性，允许在螺纹配合面加密封填料。

1）牙型。

① 一般密封米制圆柱内螺纹的牙型见表 10-1。

② 一般密封米制圆锥管螺纹的设计牙型见图 10-17。



$\varphi = 1°47'24''$　锥度：$2\tan\varphi = 1:16$

图 10-17　一般密封米制圆锥管螺纹牙型

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2}P = 0.866\ 025\ 404P;\quad \frac{H}{4} = 0.126\ 506\ 351P;$$

$$\frac{5}{8}H = 0.541\ 265\ 877P;\quad \frac{H}{8} = 0.108\ 253\ 175P。$$

2）基准平面位置。一般密封米制圆锥外螺纹基准平面的理论位置在垂直于螺纹轴线与小端面相距一个基准距离的平面内。一般密封米制圆锥和圆柱内螺纹基准平面的理论位置在垂直于螺纹轴线的端面内（图 10-18）。

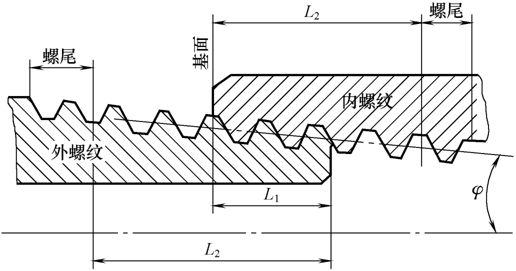


图 10-18　密封米制管螺纹基准平面理论位置及轴向尺寸分布位置

3）基本尺寸。一般密封米制管螺纹的基本尺寸见表 10-29。外螺纹上的轴向尺寸分布位置见图 10-18。

表 10-29　一般密封米制管螺纹的基本尺寸

（单位：mm）

螺纹公称直径 d、D	螺距 P	基面上螺纹直径			基准距离 L_1		有效螺纹长度 L_2	
		大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	标准基距	短基距	标准有效螺纹长度	短有效螺纹长度
6 8 10	1	6.000 8.000 10.000	5.350 7.350 9.350	4.917 6.917 8.917	5.5	2.5	8	5

（续）

螺纹公称直径 d、D	螺距 P	基面上螺纹直径			基准距离 L_1		有效螺纹长度 L_2	
		大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$	标准基距	短基距	标准有效螺纹长度	短有效螺纹长度
12	1.5	12.000	11.026	10.376	7.5	3.5	11	7
14		14.000	13.026	12.376				
16		16.000	15.026	14.376				
18		18.000	17.026	16.376				
20		20.000	19.026	18.376				
22		22.000	21.026	20.376				
24		24.000	23.026	22.376				
27	2	27.000	25.701	24.835	11	5	16	10
30		30.000	28.701	27.835				
33		33.000	31.701	30.835				
36		36.000	34.701	33.835				
39		39.000	37.701	36.835				
42		42.000	40.701	39.835				
45		45.000	43.701	42.835				
48		48.000	46.701	45.835				
52		52.000	50.701	49.835				
56		56.000	54.701	53.835				
60		60.000	58.701	57.835				

其中：$D_2=d_2=D-0.6495P$；

$D_1=d_1=D-1.0825P$。

4）公差。一般密封米制圆锥管螺纹基准平面轴向位置的极限偏差见表 10-30。

表 10-30　一般密封米制圆锥管螺纹基准平面轴向位置的极限偏差

（单位：mm）

螺纹公称直径 *d*、*D*	螺距 *P*	外螺纹基准距离的极限偏差（$\pm T_1/2$）	内螺纹基面轴向位移量的极限偏差（$\pm T_2/2$）
6～10	1	±0.9	±1.2
>10～24	1.5	±1.1	±1.5
>24～60	2	±1.4	±1.8

一般密封米制圆柱内螺纹的中径公差带为 6H，小径公差带为 4H，其公差值在普通螺纹公差表中查取，一般密封米制圆柱内螺纹的大径极限偏差见表 10-31。

表 10-31　一般密封米制圆柱内螺纹的大径极限偏差

（单位：mm）

螺纹公称直径 *D*	螺距 *P*	螺纹大径极限偏差
6～10	1	±0.045
>10～24	1.5	±0.065
>24～60	2	±0.085

5）螺纹长度。一般密封米制圆锥管螺纹的最小有效螺纹长度不应小于表 10-29 的规定值。一般密封米制圆柱内螺纹的最小有效螺纹长度不应小于表 10-29 规定值的 80%。

6）螺纹代号及标记示例。一般密封米制管螺纹的完整标记由螺纹特征代号、螺纹公称尺寸和基准距离代

号组成。

① 一般密封米制圆锥管螺纹的特征代号为 ZM。

② 一般密封米制圆柱内螺纹的特征代号为 M。

③ 基准距离代号：采用标准基准距离时，不标注基准距离代号；采用短型基准距离时，标注代号“S”，中间用“－”分开。

④ 对一般密封米制圆柱内螺纹，要在标记后加注标准代号“GB/T 1415”，中间用“·”分开。

示例：

公称直径为 10mm、标准基准距离的圆锥管螺纹：ZM10；

公称直径为 10mm、短型基准距离的圆锥管螺纹：ZM10-S；

公称直径为 10mm、螺距为 1mm 的密封圆柱螺纹：M10 ×1 · GB/T 1415。

（2）非密封米制管螺纹（M）

非密封米制管螺纹的牙型、管路系列、基本尺寸、公差值和标记方法同米制普通螺纹。

6. 英制惠氏螺纹

（1）牙型

英制惠氏螺纹的设计牙型见图 10-19。

（2）英制惠氏螺纹的标准系列（表 10-32）

（3）基本尺寸

惠氏粗牙螺纹和细牙螺纹的基本尺寸分别见表 10-33 和表 10-34。特殊系列的惠氏螺纹基本尺寸按下列公式计算：

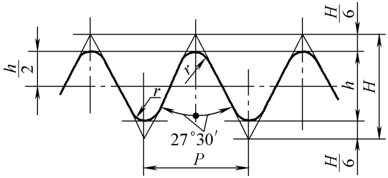


图 10-19　英制惠氏螺纹的设计牙型

$H=0.960\ 491P$；$h=0.640\ 327P$；

$\frac{H}{6}=0.160\ 082P$；$r=0.137\ 329P$。

$$D_2 = d_2 = D - 0.640\ 327P$$

$$D_1 = d_1 = D - 1.280\ 654P$$

表 10-32　英制惠氏螺纹的标准系列

公称直径 /in	牙数		公称直径 /in	牙数	
	粗牙 (B. S. W.)	细牙 (B. S. F.)		粗牙 (B. S. W.)	细牙 (B. S. F.)
1/8	(40)	—	5/8	11	14
3/16	24	(32)	11/16	(11)	(14)
7/32	—	(28)	3/4	10	12
1//4	20	26	7/8	9	11
9/32	—	(26)	1	8	10
5/16	18	22	1⅛	7	9
3/8	16	20	1¼	7	9
7/16	14	18	1⅜	—	(8)
1/2	12	16	1½	6	8
9/16	(12)	16	1⅝	—	(8)

（续）

公称直径 /in	牙数 粗牙（B. S. W.）	牙数 细牙（B. S. F.）	公称直径 /in	牙数 粗牙（B. S. W.）	牙数 细牙（B. S. F.）
1¾	5	7	3¾	（3）	4.5
2	4.5	7	4	3	4.5
2¼	4	6	4¼	—	4
2½	4	6	4½	2.875	—
2¾	3.5	6	5	2.75	—
3	3.5	5	5½	2.625	—
3¼	（3.25）	5	6	2.5	—
3½	3.25	4.5			

注：优先选用不带括号的牙数。1in = 25.4mm。

表 10-33　惠氏粗牙螺纹（B. S. W.）的基本尺寸

（单位：in）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
1/8	40	0.02500	0.0160	0.1250	0.1090	0.0930
3/16	24	0.04167	0.0267	0.1875	0.1608	0.1341
1/4	20	0.05000	0.0320	0.2500	0.2180	0.1860
5/16	18	0.05556	0.0356	0.3125	0.2769	0.2413
3/8	16	0.06250	0.0400	0.3750	0.3350	0.2950
7/16	14	0.07143	0.0457	0.4375	0.3918	0.3461
1/2	12	0.08333	0.0534	0.5000	0.4466	0.3932
9/16	12	0.08333	0.0534	0.5625	0.5091	0.4557

（续）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
5/8	11	0. 09091	0. 0582	0. 6250	0. 5668	0. 5086
11/16	11	0. 09091	0. 0582	0. 6875	0. 6293	0. 5711
3/4	10	0. 10000	0. 0640	0. 7500	0. 6860	0. 6220
7/8	9	0. 11111	0. 0711	0. 8750	0. 8039	0. 7328
1	8	0. 12500	0. 0800	1. 0000	0. 9200	0. 8400
$1^1/_8$	7	0. 14286	0. 0915	1. 1250	1. 0335	0. 9420
$1^1/_4$	7	0. 14286	0. 0915	1. 2500	1. 1585	1. 0670
$1^1/_2$	6	0. 16667	0. 1067	1. 5000	1. 3933	1. 2866
$1^3/_4$	5	0. 20000	0. 1281	1. 7500	1. 6219	1. 4938
2	4. 5	0. 22222	0. 1423	2. 0000	1. 8577	1. 7154
$2^1/_4$	4	0. 25000	0. 1601	2. 2500	2. 0899	1. 9298
$2^1/_2$	4	0. 25000	0. 1601	2. 5000	2. 3399	2. 1798
$2^3/_4$	3. 5	0. 28571	0. 1830	2. 7500	2. 5670	2. 3840
3	3. 5	0. 28571	0. 1830	3. 0000	2. 8170	2. 6340
$3^1/_4$	3. 25	0. 30769	0. 1970	3. 2500	3. 0530	2. 8560
$3^1/_2$	3. 25	0. 30769	0. 1970	3. 5000	3. 3030	3. 1060
$3^3/_4$	3	0. 33333	0. 2134	3. 7500	3. 5366	3. 3232
4	3	0. 33333	0. 2134	4. 0000	3. 7866	3. 5732
$4^1/_2$	2. 875	0. 34783	0. 2227	4. 5000	4. 2773	4. 0546
5	2. 75	0. 36364	0. 2328	5. 0000	4. 7672	4. 5344
$5^1/_2$	2. 625	0. 38095	0. 2439	5. 5000	5. 2561	5. 0122
6	2. 5	0. 40000	0. 2561	6. 0000	5. 7439	5. 4878

注：1in＝25. 4mm。

表 10-34　惠氏细牙螺纹（B. S. F.）的基本尺寸

（单位：in）

公称直径	牙数	螺距	牙高	大径	中径	小径
3/16	32	0. 03125	0. 0200	0. 1875	0. 1675	0. 1475
7/32	28	0. 03571	0. 0229	0. 2188	0. 1959	0. 1730
1/4	26	0. 03846	0. 0246	0. 2500	0. 2254	0. 2008
9/32	26	0. 03846	0. 0246	0. 2812	0. 2566	0. 2320
5/16	22	0. 04545	0. 0291	0. 3125	0. 2834	0. 2543
3/8	20	0. 05000	0. 0320	0. 3750	0. 3430	0. 3110
7/16	18	0. 05556	0. 0356	0. 4375	0. 4019	0. 3663
1/2	16	0. 06250	0. 0400	0. 5000	0. 4600	0. 4200
9/16	16	0. 06250	0. 0400	0. 5625	0. 5225	0. 4825
5/8	14	0. 07143	0. 0457	0. 6250	0. 5793	0. 5336
11/16	14	0. 07143	0. 0457	0. 6875	0. 6418	0. 5961
3/4	12	0. 08333	0. 0534	0. 7500	0. 6966	0. 6432
7/8	11	0. 09091	0. 0582	0. 8750	0. 8168	0. 7586
1	10	0. 10000	0. 0640	1. 0000	0. 9360	0. 8720
$1^1/_8$	9	0. 11111	0. 0711	1. 1250	1. 0539	0. 9828
$1^1/_4$	9	0. 11111	0. 0711	1. 2500	1. 1789	1. 1078
$1^3/_8$	8	0. 12500	0. 0800	1. 3750	1. 2950	1. 2150
$1^1/_2$	8	0. 12500	0. 0800	1. 5000	1. 4200	1. 3400
$1^5/_8$	8	0. 12500	0. 0800	1. 6250	1. 5450	1. 4650
$1^3/_4$	7	0. 14286	0. 0915	1. 7500	1. 6585	1. 5670
2	7	0. 14286	0. 0915	2. 0000	1. 9085	1. 8170
$2^1/_4$	6	0. 16667	0. 1067	2. 2500	2. 1433	2. 0366
$2^1/_2$	6	0. 16667	0. 1067	2. 5000	2. 3933	2. 2866
$2^3/_4$	6	0. 16667	0. 1067	2. 7500	2. 6433	2. 5366
3	5	0. 20000	0. 1281	3. 0000	2. 8719	2. 7438
$3^1/_4$	5	0. 20000	0. 1281	3. 2500	3. 1219	2. 9938

注：1in = 25. 4mm。

二、齿轮

1. 渐开线圆柱齿轮

（1）基本齿廓及代号

当渐开线圆柱齿轮的基圆无穷增大时，齿轮将变成齿条，渐开线齿廓将逼近直线形齿廓，这一点成为统一齿廓的基础。基本齿廓标准不仅要统一齿形角，还要统一齿廓各部分的几何尺寸。

GB/T1356—2001《通用机械和重型机械用圆柱齿轮　标准基本齿条齿廓》，规定了通用机械和重型机械用渐开线圆柱齿轮（外齿或内齿）的标准基本齿条齿廓的特性。

标准适用于 GB/T1357—2008 的规定。

1）代号和单位见表 10-35。

表 10-35　代号和单位

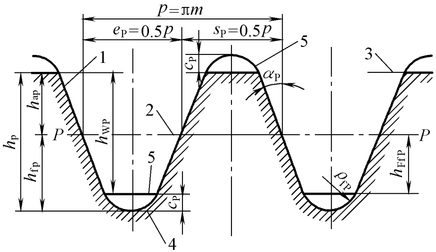
代号	意　　义	单位
c_P	标准基本齿条轮齿与相啮标准基本齿条轮齿之间的顶隙	mm
e_p	标准基本齿条轮齿齿槽宽	mm
h_{ap}	标准基本齿条轮齿齿顶高	mm
h_{fp}	标准基本齿条轮齿齿根高	mm
h_{Ffp}	标准基本齿条轮齿齿根直线部分的高度	mm
h_p	标准基本齿条的齿高	mm
h_{wp}	标准基本齿条和相啮标准基本齿条轮齿的有效齿高	mm
m	模数	mm
P	齿距	mm

（续）

代号	意　　义	单位
s_p	标准基本齿条轮齿的齿厚	mm
u_{Fp}	挖根量	mm
α_{Fp}	挖根角	°
α_p	压力角	°
ρ_{fp}	基本齿条的齿根圆角半径	mm

2）标准基本齿条齿廓见表 10-36。

表 10-36　标准基本齿条齿廓



1—标准基本齿条齿廓　2—基准线　3—齿顶线
4—齿根线　5—相啮标准基本齿条齿廓

标准基本齿条比例					
几何参数	α_p	h_{ap}	c_p	h_{fp}	ρ_{fp}
标准基本齿条值	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.38m$

基本齿条齿廓类型	几何参数					推荐使用场合
	α_p	h_{ap}	c_p	h_{fp}	ρ_{fp}	
A	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.38m$	用于传递大转矩的齿轮

（续）

基本齿条齿廓类型	几何参数					推荐使用场合
	α_p	h_{ap}	c_p	h_{fp}	ρ_{fp}	
B	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.3m$	用于通常的场合。用标准滚刀加工时，可用 C 型
C	20°	$1m$	$0.25m$	$1.25m$	$0.25m$	
D	20°	$1m$	$0.4m$	$1.4m$	$0.39m$	齿根圆角为单圆弧齿根圆角。用于高精度、传递大转矩齿轮

3）模数系列见表 10-37。

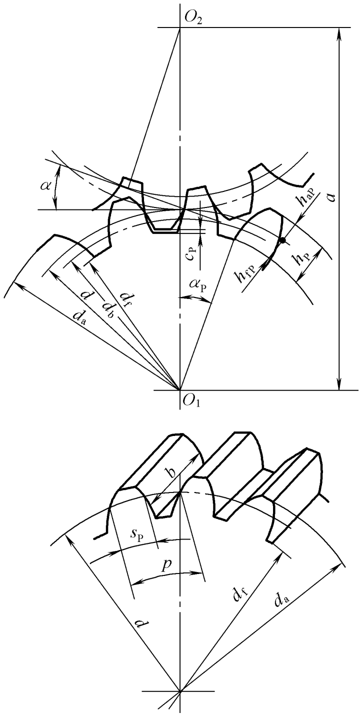
表 10-37　模数系列（GB/T 1357—2008）

第一系列	0.1	0.12	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
	0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3
	4	5	6	8	10	12	16	20
	25	32	40	50				
第二系列	0.35	0.7	0.9	1.75	2.25	2.75	（3.25）	
	3.5	（3.75）	4.5	5.5	（6.5）	7	9	
	（11）	14	18	22	28	36	45	

（2）圆柱齿轮的几何尺寸计算

1）外啮合标准圆柱齿轮几何尺寸的计算见表 10-38。

表 10-38　外啮合标准圆柱齿轮几何尺寸的计算



（续）

直 齿 轮				
项目	名称	代号	计算公式	说 明
基本参数	模数	m	—	按规定选取
	齿数	z	—	按传动要求确定
	齿形角	α_P	$\alpha_P = 20°$	—
	齿顶高系数	h_a	$h_a = 1$	—
	顶隙系数	c_P	$c_P = 0.25$	—
几何尺寸	分度圆直径	d	$d = mz$	—
	齿顶高	h_{aP}	$h_{aP} = h_a m = m$	—
	齿根高	h_{fP}	$h_{fP} = (h_a + c_P)m = 1.25m$	—
	齿高	h_P	$h_P = h_{aP} + h_{fP} = 2.25m$	—
	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_{aP} = m(z+2)$	—
	齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_{fP} = m(z-2.5)$	—
	齿距	p	$p = \pi m$	—
	齿厚	s_P	$s_P = \dfrac{p}{2} = \dfrac{\pi m}{2}$	—
	齿宽	b	b	齿的轴向长度
	中心距	a	$a = \dfrac{d_1 + d_2}{2} = \dfrac{m(z_1 + z_2)}{2}$	—

（续）

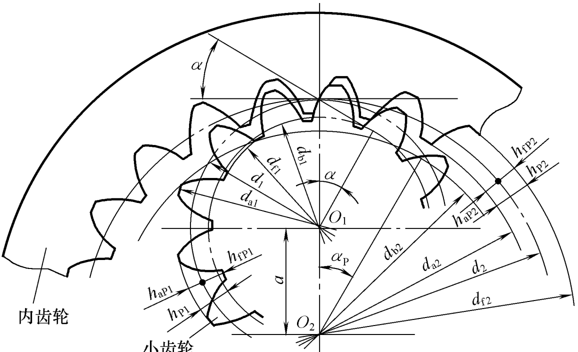
斜 齿 轮				
项目	名称	代号	计算公式	说 明
基本参数	模数	m	$m_n = m_t \cos\beta$ m_t——端面模数	按规定选取
	齿数	z	—	按传动要求确定
	齿形角	α_p	$\alpha_{Pn} = 20°$	—
	分度圆螺旋角	β	—	常在 8°～20°内选择
	齿顶高系数	h_a	$h_{an} = 1$	—
	顶隙系数	c_P	$c_{Pn} = 0.25$	—
几何尺寸	分度圆直径	d	$d = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot z$	—
	齿顶高	h_{aP}	$h_{aP} = h_{an} m_n = m_n$	—
	齿根高	h_{fP}	$h_{fP} = (h_{an} + c_P) m_n = 1.25 m_n$	—
	齿高	h_P	$h_P = h_{aP} + h_{fP} = 2.25 m_n$	—
	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_{aP} = m_n \left(\frac{z}{\cos\beta} + 2\right)$	—
	齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_{fP} = m_n \left(\frac{z}{\cos\beta} - 2.5\right)$	—
	齿距	p	$p_n = \pi m_n$	—
	齿厚	s_P	$s_{Pn} = \frac{p_n}{2} = \frac{\pi m_n}{2}$	—

（续）

斜　齿　轮				
项目	名称	代号	计算公式	说　明
几何形状	齿宽	b	b	齿的轴向长度
	中心距	a	$a=\dfrac{(d_1+d_2)}{2}=\dfrac{m_n(z_1+z_2)}{2\cos\beta}$	—

2）内啮合标准圆柱齿轮几何尺寸的计算见表 10-39。

表 10-39　内啮合标准圆柱齿轮几何尺寸的计算



（续）

项目	名称	代号	计算公式	说　明
	模数	m	—	按规定选取
基本参数	齿数	z	一般取 $z_2 - z_1 > 10$	按传动要求确定
	分度圆压力角	α_P	$\alpha_P = 20°$	—
	齿顶高系数	h_a	$h_a = 1$	—
	顶隙系数	c_P	$c_P = 0.25$	—
几何尺寸	分度圆直径	d_2	$d_2 = z_2 m$	—
	基圆直径	d_{b2}	$d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	—
	齿顶圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 - 2h_a m + \Delta d_a$ $\Delta d_a = \dfrac{2h_a m}{z_2 \tan^2 \alpha_P}$ 当 $h_a = 1$，$\alpha_P = 20°$时， $\Delta d_a = \dfrac{15.1m}{z_2}$	—
	齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 + 2(h_a + c_P)m$	—
	全齿高	h_{P2}	$h_{P2} = \dfrac{1}{2}(d_{f2} - d_{a2})$	—
	中心距	a	$a = \dfrac{1}{2}(z_2 - z_1)m$	—

（3）精度等级及其选择

1）精度等级。在渐开线圆柱齿轮精度标准（GB/

T10095.1～2—2008）中共有 13 个精度等级，用数字 0～12 由高到低的顺序排列，0 级精度最高，12 级精度最低。

0～2 级是有待发展的精度等级，齿轮各项偏差的允许值很小，目前我国只有少数企业能制造和检验测量 2 级精度的齿轮。通常，将 3～5 级精度称为高精度，将 6～8 级称为中等精度，而将 9～12 级称为低精度。

径向综合偏差的精度等级由 F''_i、f''_i 的 9 个等级组成，其中 4 级精度最高，12 级精度最低。

齿轮精度等级见表 10-40，齿轮各项偏差代号名称见表 10-41。

表 10-40　齿轮精度等级

标准	偏差项目	精度等级												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GB/T 10095.1	f_{pt}、F_{pk}、F_p、F_α、F_β、F'_i、f'_i	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
GB/T 10095.2	F_r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	F''_i、f''_i					—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 10-41　齿轮各项偏差代号名称

代号	名　　称	代号	名　　称
f_{pt}	单个齿距偏差	F'_i	切向综合总偏差、总公差
F_{pk}	齿距累积偏差	f'_i	一齿切向综合偏差、综合公差
F_P	齿距累积总偏差	F_r	径向圆跳动、圆跳动公差
F_a	齿廓总偏差	F''_i	径向综合总偏差、综合公差
F_β	螺旋线总偏差、总公差	f''_i	一齿径向综合偏差、综合公差

2）精度等级的选择。

① 在给定的技术文件中，如果所要求的齿轮精度是 GB/T 10095.1 的某级精度而无其他规定时，则齿距偏差（f_{pt}、$F_{p\kappa}$、F_p）、齿廓偏差（F_α）和螺旋线偏差（F_β）的允许值均按该精度等级。

② GB/T 10095.1 规定，可按供需双方协议对工作齿面和非工作齿面规定不同的精度等级，或对不同的偏差项目规定不同的精度等级。另外，也可仅对工作齿面规定所要求的精度等级。

③ 径向综合偏差精度等级，不一定与 GB/T 10095.1 中的要素偏差（如齿距、齿廓、螺旋线）选用相同的等级。当文件需叙述齿轮精度要求时，应注明 GB/T 10095.1 或 GB/T 10095.2。

④ 选择齿轮精度等级时，必须根据其用途、工作条件等要求来确定，即必须考虑齿轮的工作速度、传递功率、工作的持续时间、机械振动、噪声和使用寿命等方面的要求。齿轮精度等级可用计算法确定，但目前企业界主要是采用经验法（或表格法）。表 10-42 为各类机器传动中所应用的齿轮精度等级，表 10-43 为各精度等级齿轮的适用范围。

表 10-42　各类机器传动中所应用的齿轮精度等级

产品类型	精度等级	产品类型	精度等级
测量齿轮	2 ~ 5	汽车底盘	5 ~ 8
透平齿轮	3 ~ 6	轻型汽车	5 ~ 8
金属切削机床	3 ~ 8	载货汽车	6 ~ 9
内燃机车	6 ~ 7	航空发动机	4 ~ 8

（续）

产品类型	精度等级	产品类型	精度等级
拖拉机	6～9	矿用绞车	8～10
通用减速器	6～9	起重机械	7～10
轧钢机	6～10	农业机械	8～11

表 10-43　各精度等级齿轮的适用范围

精度等级	工作条件与适用范围	圆周速度/（m/s）		齿面的最后加工
		直齿	斜齿	
3	用于最平稳且无噪声的极高速下工作的齿轮；特别精密的分度机构齿轮；特别精密机械中的齿轮；控制机构齿轮；检测5、6级的测量齿轮	>50	>75	特精密的磨齿和珩磨用精密滚刀滚齿或单边剃齿后的大多数不经淬火的齿轮
4	用于精密分度机构的齿轮；特别精密机械中的齿轮；高速透平齿轮；控制机构齿轮；检测7级的测量齿轮	>40	>70	精密磨齿；大多数用精密滚刀滚齿和珩齿或单边剃齿
5	用于高平稳且低噪声的高速传动中的齿轮；精密机构中的齿轮；透平传动的齿轮；检测8、9级的测量齿轮 重要的航空、船用齿轮箱齿轮	>20	>40	精密磨齿；大多数用精密滚刀加工，进而研齿或剃齿

（续）

精度等级	工作条件与适用范围	圆周速度/（m/s）		齿面的最后加工
		直齿	斜齿	
6	用于高速下平稳工作、需要高效率及低噪声的齿轮；航空、汽车用齿轮；读数装置中的精密齿轮；机床传动链齿轮；机床传动齿轮	≤15	≤30	精密磨齿或剃齿
7	在高速和适度功率或大功率和适当速度下工作的齿轮；机床变速箱进给齿轮；高速减速器的齿轮；起重机齿轮；汽车以及读数装置中的齿轮	≤10	≤15	无需热处理的齿轮，用精密刀具加工 对于淬硬齿轮必须精整加工（磨齿、研齿、珩磨）
8	一般机器中无特殊精度要求的齿轮；机床变速齿轮；汽车制造业中不重要齿轮；冶金、起重、机械齿轮；通用减速器的齿轮；农业机械中的重要齿轮	≤6	≤10	滚、插齿均可，不用磨齿；必要时剃齿或研齿
9	用于不提精度要求的粗糙工作的齿轮；因结构上考虑，受载低于计算载荷的传动用齿轮；重载、低速不重要工作机械的传力齿轮；农机齿轮	≤2	≤4	不需要特殊的精加工工序

（4）齿坯公差

齿坯是指在轮齿加工前供制造齿轮用的工件。齿坯的尺寸偏差直接影响齿轮的加工精度，影响齿轮副的接触和运行。

1）基准面的形状公差。

① 基准面的精度要求取决于：

a. 齿轮精度等级。基准面的极限值应远小于单个轮齿的公差值。

b. 基准面的相对位置。一般来说，跨距占轮齿分度圆直径的比例越大，给定的公差就越松。

② 必须在齿轮图样上规定基准面的精度要求。所有基准面的形状公差应不大于表 10-44 中的规定值。

表 10-44　基准面与安装面的形状公差

确定轴线的基准面	公差项目		
	圆度	圆柱度	平面度
两个“短的”圆柱或圆锥形基准面	$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中之小值	—	—
一个“长的”圆柱或圆锥形基准面	—	$0.04(L/b)F_\beta$ 或 $0.1F_p$ 取两者中之小值	—
一个“短的”圆柱面和一个端面	$0.06F_p$	—	$0.06(D_d/b)F_\beta$

注：1. L—轴承跨距；b—齿宽；F_β—螺旋线总偏差；F_p—齿距累积总偏差；D_d—基准面直径。

2. 齿轮坯公差应减至能经济制造的最小值。

③ 基准面（轴向和径向）应加工得与齿轮坯的实际轴孔、轴颈和肩部完全同心。

2）工作及制造安装面的形状公差。工作及制造安装面的形状公差，也不能大于表 10-44 中的规定值。

3）工作轴线的跳动公差。当基准轴线与工作轴线不重合时，工作安装面相对于基准轴线的跳动必须在图样上予以规定，跳动公差不应大于表 10-45 中的规定值。

表 10-45 安装面的跳动公差

确定轴线的基准面	跳动量(总的指示幅度)	
	径　　向	轴　　向
仅指圆柱或圆锥形基准面	$0.15(L/b)F_{\beta}$ 或 $0.3F_{p}$ 取两者中之大值	—
一个圆柱基准面和一个端面基准面	$0.3F_{p}$	$0.2(D_{d}/b)F_{\beta}$

注：齿轮坯的公差应减至能经济制造的最小值。

4）齿轮切削和检验时使用的安装面。齿轮在制造和检验过程中，安装齿轮时应使其旋转的实际轴线与图样上规定的基准轴线重合。

除非在制造和检验中用来安装齿轮的安装面就是基准面，否则这些安装面相对于基准轴线的位置也必须予以控制。

5）齿顶圆柱面。设计者应对齿顶圆直径选择合适的公差，以保证有最小限度的设计重合度，并且有足够的齿顶间隙。如果将齿顶圆柱面作为基准面，除了上述数值仍可用作尺寸公差外，其形状公差不应大于表 10-44 中所规定的相关数值。

6）其他齿轮的安装面。在一个与小齿轮做成一体的轴上，常有一段用来安装一个大齿轮。这时，大齿轮安装面的公差应在妥善考虑大齿轮的质量要求后来选择。常用的办法是相对于已经确定的基准轴线规定允许的圆跳动量。

7）齿坯公差应用示例见图 10-20 和图 10-21。

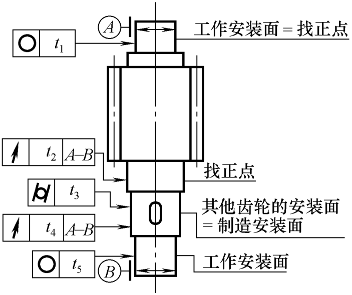


图 10-20　齿轮轴

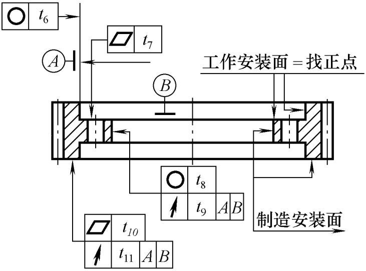


图 10-21　齿圈

2. 齿条

（1）齿条的几何尺寸计算（表 10-46）

表 10-46　齿条的几何尺寸计算

项目	名　　称	代号	计算公式
基本参数	模数	m	
	压力角	α_P	$\alpha_P = 20°$
	齿顶高系数	h_a	$h_a = 1$
	顶隙系数	c_P	$c_P = 0.25$
	齿条齿根圆半径	ρ_{fP}	$\rho_{fP} = 0.38m$
几何尺寸	齿距	p	$p = \pi m$
	齿厚	s_P	$s_P = 1.5708m$
	齿顶高	h_{aP}	$h_{aP} = h_a m$
	齿根高	h_{fP}	$h_{fP} = (h_a + c_P) m$
	齿全高	h_P	$h_P = h_{aP} + h_{fP}$

（2）齿条精度（GB/T 10096—1988）

GB/T 10096—1988 对基本齿廓符合 GB/T 1356—2001 规定的齿条及由直齿或斜齿圆柱齿轮与齿条组成的齿条副规定了误差定义、代号、精度等级、检验与公差、侧隙和图样标注等，对法向模数 $m_n \geqslant 1 \sim 40$mm、工作齿宽到 630mm 的齿条规定了公差或极限偏差值。

1）精度等级、公差组及其组合。

①　精度等级。标准对齿条及齿条副规定了 12 个精度等级，第 1 级精度等级最高，第 12 级精度等级最低。

②　公差组。按照各项误差项目的特性和对传动性能的主要影响，标准将各项公差划分为三个公差组（表 10-47）。

表 10-47　公差组

公差组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
公差与极限偏差项目	F'_i、F_p、F''_i、F_r	f'_i、f''_i、f_f、$\pm f_{pt}$	F_β

③　公差组合。根据不同的使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。但在同一公差组内，各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

④　齿条的各项偏差代号名称见表 10-48。

表 10-48　齿条各项偏差代号名称

代号	名　　称	代号	名　　称
F'_i	切向综合公差	f''_i	一齿径向综合公差
F_p	齿距累积公差	f_f	齿形公差
F''_i	径向综合公差	$\pm f_{pt}$	齿距极限偏差
F_r	齿槽跳动公差	F_β	齿向公差
f'_i	一齿切向综合公差		

2）齿厚极限偏差。齿厚极限偏差的上偏差 E_{ss} 及下偏差 E_{si} 可按表 10-49 选用。

例如：上偏差选用代号 F（等于 $-4f_{pt}$），下偏差选用代号 L（等于 $-16f_{pt}$），齿厚极限偏差用代号 FL 表示，如图 10-22 所示。

表 10-49　齿厚极限偏差

$C=\pm 1f_{pt}$	$G=-6f_{pt}$	$L=-16f_{pt}$	$R=-40f_{pt}$
$D=0$	$H=-8f_{pt}$	$M=-20f_{pt}$	$S=-50f_{pt}$
$E=-2f_{pt}$	$J=-10f_{pt}$	$N=-25f_{pt}$	
$F=-4f_{pt}$	$K=-12f_{pt}$	$P=-32f_{pt}$	

（3）标记示例

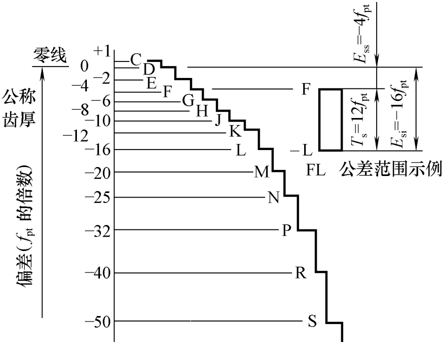
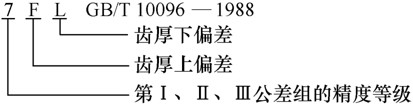
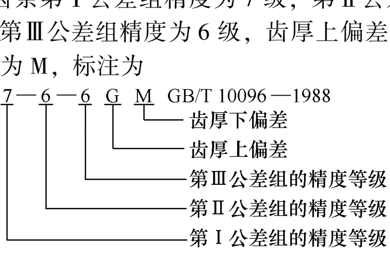


图 10-22　齿厚极限偏差代号

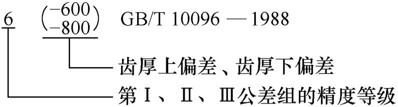
1）齿条的三个公差组精度为 7 级，其齿厚上偏差为 F，下偏差为 L，标注为



2）齿条第Ⅰ公差组精度为 7 级，第Ⅱ公差组精度为 6 级，第Ⅲ公差组精度为 6 级，齿厚上偏差为 G，齿厚下偏差为 M，标注为



3）齿条的三个公差组精度同为 6 级，其齿厚上偏差为 −600μm，下偏差为 −800μm，标注为

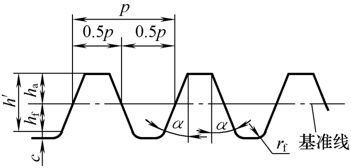


3. 锥齿轮

（1）锥齿轮基本齿廓尺寸参数

GB/T 12369—1990《直齿及斜齿锥齿轮基本齿廓》，对大端端面模数 $m \geqslant 1$mm 的直齿及斜齿锥齿轮规定了其基本齿廓的形状和尺寸参数（表 10-50）。

表 10-50　锥齿轮基本齿廓尺寸参数

尺寸参数		图　　示
齿形角 α	20° 14°30′(根据需要采用)25°(根据需要采用)	
齿顶高 h_a	$1m_n$	
工作高度 h'	$2m_n$	
齿距 p	$\pi m_n/\cos\beta$ (在大端端面基准面上)	
顶隙 c	$0.2m_n$	
齿根圆角半径 r_f	$0.3m_n$ $\geqslant 0.35m_n$ (在啮合允许时)	

注：齿廓可以修缘，原则上在齿顶修缘，其最大值为：齿高方向 $0.6m_n$；齿厚方向 $0.02m_n$。

（2）模数

GB/T 12368—1990《锥齿轮模数》，对直齿、斜齿及曲线齿（齿线为圆弧线、长幅外摆线及准渐开线等）、锥齿轮，规定了模数系列（表 10-51）。

锥齿轮模数是指大端端面模数，代号为 m，单位为 mm。

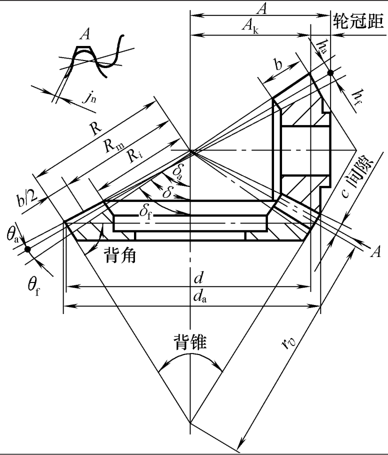
表 10-51　锥齿轮模数（单位：mm）

锥齿轮模数	0. 1 ,0. 12 ,0. 15 ,0. 2 ,0. 25 ,0. 3 ,0. 35 ,0. 4 ,0. 5 ,0. 6 ,0. 7 ,0. 8 ,0. 9 , 1 , 1. 125 , 1. 25 , 1. 375 , 1. 5 , 1. 75 , 2 , 2. 25 , 2. 5 , 2. 75 ,3 ,3. 25 ,3. 5 ,3. 75 ,4 ,4. 5 ,5 ,5. 5 ,6 ,6. 5 ,7 ,8 ,9 ,10 ,11 ,12 ,14 ,16 ,18 ,20 ,22 ,25 ,28 ,30 ,32 ,36 ,40 ,45 ,50

（3）直齿锥齿轮几何尺寸的计算（表 10-52）

表 10-52　直齿锥齿轮几何尺寸的计算

（单位：mm）



R—外锥距 R_i—内锥距 R_m—中点锥距 r_v—背锥距 A—安装距 A_k—冠顶距 $A-A_k$—轮冠距 b—齿宽 h_a—齿顶高 h_f—齿根高 θ_a—齿顶角 θ_f—齿根角 d_a—齿顶圆直径 d—分度圆直径 δ_a—顶圆锥角 δ—分锥角 δ_f—根圆锥角

（续）

名称	代号	计算公式 小轮	计算公式 大轮
模数	m	大端模数 $m = d_1/z_1 = d_2/z_2$	
齿数	z	z_1	z_2
轴交角	Σ	根据结构要求设计确定	
分锥角	δ	$\Sigma = 90°$时 $\delta_1 = \arctan \frac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
		$\Sigma < 90°$时 $\delta_1 = \arctan \frac{\sin\Sigma}{\frac{z_2}{z_1} + \cos\Sigma}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
		$\Sigma > 90°$时 $\delta_1 = \arctan$ $\frac{\sin(180° - \Sigma)}{\frac{z_2}{z_1} - \cos(180° - \Sigma)}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
分度圆直径	d	$d_1 = mz_1$	$d_2 = mz_2$
外锥距	R	$R = \frac{d_1}{2\sin\delta_1}$ 当 $\Sigma = 90°$时，$R = \frac{d_1}{2\sin\delta_1} = \frac{m}{2}\sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	
齿宽	b	$\frac{R}{3} \geqslant b \leqslant 10m$	
齿顶高	h_a	m	
齿根高	h_f	$1.2m$	

（续）

名　　称	代号	计　算　公　式	
		小　　轮	大　　轮
全 齿 高	h	$2.2m$	
大端齿顶圆直径	d_a	$d_{a1}=d_1+2h_{a1}\cos\delta_1$	$d_{a2}=d_2+2h_{a2}\cos\delta_2$
齿 根 角	θ_f	$\theta_{f1}=\arctan\frac{h_{f1}}{R}$	$\theta_{f2}=\arctan\frac{h_{f2}}{R}$
齿 顶 角	θ_a	等齿顶间隙收缩齿	
		$\theta_{a1}=\theta_{f2}=\arctan\frac{h_{f2}}{R}$	$\theta_{a2}=\theta_{f1}=\arctan\frac{h_{f1}}{R}$
		不等齿顶间隙收缩齿	
		$\theta_{a1}=\arctan\frac{h_{a1}}{R}$	$\theta_{a2}=\arctan\frac{h_{a2}}{R}$
顶圆锥角	δ_a	等齿顶间隙收缩齿	
		$\delta_{a1}=\delta_1+\theta_{f2}$	$\delta_{a2}=\delta_2+\theta_{f1}$
		不等齿顶间隙收缩齿	
		$\delta_{a1}=\delta_1+\theta_{a1}$	$\delta_{a2}=\delta_2+\theta_{a2}$
根圆锥角	δ_f	$\delta_{f1}=\delta_1-\theta_{f1}$	$\delta_{f2}=\delta_2-\theta_{f2}$
冠 顶 距	A_k	$\Sigma=90°$时	
		$A_{k1}=\frac{d_2}{2}-h_{a1}\sin\delta_1$	$A_{k2}=\frac{d_1}{2}-h_{a2}\sin\delta_2$
		$\Sigma\neq90°$时	
		$A_{k1}=R\cos\delta_1-h_{a1}\sin\delta_1$	$A_{k2}=R\cos\delta_2-h_{a2}\sin\delta_2$

（续）

名　　称	代号	计　算　公　式	
		小　　轮	大　　轮
大端分度圆弧齿厚	s	$s_1=\dfrac{\pi m}{2}$	$s_2=\dfrac{\pi m}{2}$
大端分度圆弦齿厚	$\bar{s}$	$\bar{s}_1=s_1-\dfrac{s_1^3}{6d_1^2}$	$\bar{s}_2=s_2-\dfrac{s_2^3}{6d_2^2}$
大端分度圆弦齿高	$\bar{h}$	$\bar{h}_{a1}=h_{a1}+\dfrac{s_1^2}{4d_1}\cos\delta_1$	$\bar{h}_{a2}=h_{a2}+\dfrac{s_2^2}{4d_2}\cos\delta_2$
齿角（刨齿机用）	λ	$\lambda_1\approx\dfrac{3438}{R}\times\left(\dfrac{s_1}{2}+h_{f1}\tan\alpha\right)$	$\lambda_2\approx\dfrac{3438}{R}\times\left(\dfrac{s_2}{2}+h_{f2}\tan\alpha\right)$

注：为提高精切齿的精度及精切刀寿命，粗切时可以沿齿宽切深 0.05mm 的增量，即实际齿根高比计算的多 0.05mm。

（4）锥齿轮精度

锥齿轮精度标准 GB/T 11365—1989 适用于中点法向模数 $m_n \geqslant 1$mm 的直齿、斜齿、曲线齿锥齿轮和准双曲面齿轮。标准对齿轮及齿轮副规定 12 个精度等级，并将齿轮和齿轮副的公差项目分成三个公差组。

根据使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。但对齿轮副中大、小轮的同一公差组，应规定同一精度等级。

1）锥齿轮及齿轮副的公差组见表 10-53。

表 10-53　锥齿轮及齿轮副的公差组

公差组		公差与极限偏差项目
Ⅰ	齿轮	F'_i、$F'_{i\Sigma}$、F_p、F_{pk}、F_r
	齿轮副	F'_{ic}、$F''_{i\Sigma c}$、F_{vj}
Ⅱ	齿轮	f'_i、$f''_{i\Sigma}$、f'_{zk}、 $\pm f_{pt}$、f_c
	齿轮副	f'_{ic}、$f''_{i\Sigma c}$、f_{zkc}、f'_{zzc}、 $\pm f_{AM}$
Ⅲ	齿轮	接触斑点
	齿轮副	接触斑点 f_a

2）锥齿轮各项偏差代号名称见表 10-54。

表 10-54　锥齿轮各项偏差代号名称

代号	名　　称	代号	名　　称
F'_i	切向综合公差	f'_{zk}	周期误差的公差
$F''_{i\Sigma}$	轴交角综合公差	$\pm f_{pt}$	齿距极限偏差
F_P	齿距累积公差	f_c	齿形相对误差的公差
F_{pk}	k 个齿距累积公差	f'_{ic}	齿轮副一齿切向综合公差
F_r	齿圈跳动公差	$f''_{i\Sigma c}$	齿轮副一齿轴交角综合公差
F'_{ic}	齿轮副切向综合公差	f'_{zkc}	齿轮副周期误差的公差
$F''_{i\Sigma c}$	齿轮副轴交角综合公差	f'_{zzc}	齿轮副齿频周期误差的公差
F_{vj}	齿轮副侧隙变动公差	$\pm f'_{AM}$	齿圈轴向位移极限偏差
f'_i	一齿切向综合公差	f_a	齿轮副轴间距极限偏差
$f''_{i\Sigma}$	一齿轴交角综合公差		

3）齿轮副侧隙。齿轮副的最小法向侧隙（j_{nmin}）种类为 6 种：a、b、c、d、e、h。法向侧隙公差种类为 5 种：A、B、C、D、H。推荐法向侧隙公差种类与最小法向侧隙种类的对应关系为：A—a，B—b，C—c，D—d，H—e 和 H—h（图 10-23）。

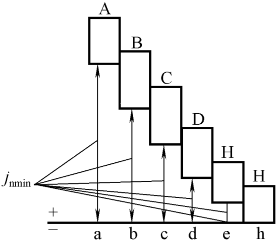


图 10-23　最小法向侧隙与法向侧隙公差的推荐关系

4）齿轮精度标注示例。

7 b GB/T 11365—1989

- b：最小法向侧隙种类为 b，法向侧隙公差种类为B（B省略）
- 7：三个公差组的精度等级同为 7 级

7—400 B GB/T 11365—1989

- B：法向侧隙公差种类为 B
- 400：最小法向侧隙数值为 400μm
- 7：三个公差组的精度等级同为 7 级

8—7—7 c B GB/T 11365—1989

- B：法向侧隙公差种类为B
- c：最小法向侧隙种类为c
- 7：第Ⅲ公差组精度 7 级
- 7：第Ⅱ公差组精度 7 级
- 8：第Ⅰ公差组精度 8 级

（5）齿坯要求

齿坯质量直接影响切齿精度，同时影响检验数据的可靠性，还影响齿轮副的安装精度。所以齿轮加工、检验和安装的定位基准面应尽量一致，并在齿轮图样上予以标注。齿坯各项公差和偏差见表 10-55 ~ 表 10-57。

表 10-55　齿坯尺寸公差

精度等级	4	5	6	7	8	9	10	11	12
轴径尺寸公差	IT4	IT5		IT6		IT7			
孔径尺寸公差	IT5	IT6		IT7		IT8			
外径尺寸极限偏差	0 – IT7	0 – IT8				0 – IT9			

表 10-56　齿坯顶锥母线跳动和基准端面圆跳动公差

（单位：μm）

类别	大于	到	跳动公差	精度等级①			
				4	5 ~ 6	7 ~ 8	9 ~ 12
外径/mm	—	30	顶锥母线跳动公差	10	15	25	50
	30	50		12	20	30	60
	50	120		15	25	40	80
	120	250		20	30	50	100
	250	500		25	40	60	120
	500	800		30	50	80	150
	800	1250		40	60	100	200
	1250	2000		50	80	120	250
	2000	3150		60	100	150	300
	3150	5000		80	120	200	400

（续）

类别	大于	到	跳动公差	精度等级[1]			
				4	5～6	7～8	9～12
基准端面直径/mm	—	30	基准端面圆跳动公差	4	6	10	15
	30	50		5	8	12	20
	50	120		6	10	15	25
	120	250		8	12	20	30
	250	500		10	15	25	40
	500	800		12	20	30	50
	800	1250		15	25	40	60
	1250	2000		20	30	50	80
	2000	3150		25	40	60	100
	3150	5000		30	50	80	120

① 当三个公差组精度等级不同时，按最高的精度等级确定公差值。

表 10-57　齿坯轮冠距和顶锥角极限偏差

中点法向模数/mm	轮冠距极限偏差/μm	顶锥角极限偏差（′）
≤1.2	0 −50	+15 0
>1.2～10	0 −75	+8 0
>10	0 −100	+8 0

4. 圆柱蜗杆和蜗轮

（1）圆柱蜗杆的基本齿廓（GB/T 10087—1988）

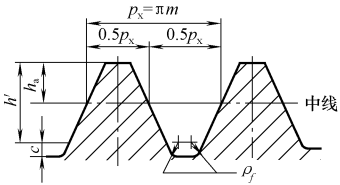
标准规定了圆柱蜗杆的基本齿廓。本标准适用于模数 $m \geqslant 1$mm，轴交角 $\Sigma = 90°$ 的圆柱蜗杆传动，其基本

蜗杆的类型为阿基米德蜗杆（ZA 蜗杆）、法向直廓蜗杆（ZN 蜗杆）、渐开线蜗杆（ZI 蜗杆）和锥面包络圆柱蜗杆（ZK 蜗杆）。

标准规定的圆柱蜗杆的基本齿廓是指基本蜗杆在给定截面上的规定齿形。基本齿廓的尺寸参数在蜗杆轴平面内的规定见表 10-58。

表 10-58　圆柱蜗杆基本齿廓

基本齿廓（在轴平面内）



参数名称	代号	数值	说　　明
齿顶高	h_a	$1m$	齿顶高系数 $h_a^* = 1$
工作齿高	h'	$2m$	在工作齿高部分的齿形是直线
轴向齿距	p_x	πm	中线上的齿厚和齿槽宽相等
顶隙	c	$0.2m$	顶隙系数 $c^* = 0.2$
齿根圆角半径	ρ_f	$0.3m$	

（续）

参数名称		代号	数值	说　　明
齿形角	ZA 蜗杆	α_x	20°	蜗杆的轴向齿形角
	ZN 蜗杆	α_n	20°	蜗杆的法向齿形角
	ZI 蜗杆	α_n	20°	蜗杆的法向齿形角
产形角	ZK 蜗杆	α_0	20°	为形成蜗杆齿面的锥形刀具的产形角

注：1. 圆柱蜗杆的基本齿廓是指基本蜗杆在给定截面上的规定齿形。基本蜗杆的类型推荐采用 ZI、ZK 蜗杆。

2. 采用短齿时，$h_a=0.8m$，$h'=1.6m$。

3. 顶隙 c 允许减小到 0.15m 或增大至 0.35m。

4. 齿根圆角半径 ρ_f 允许减小到 0.2m 或增大至 0.4m，也允许加工成单圆弧。

5. 允许齿顶倒圆，但圆角半径不大于 0.2m。

6. 在动力传动中，当导程角 $\gamma>30°$时，允许增大齿形角，推荐采用 25°；在分度传动中，允许减小齿形角，推荐采用 15°或 12°。

（2）圆柱蜗杆的主要参数

1）模数。蜗杆模数 m 系指蜗杆的轴向模数。通常应按表 10-59 规定的数值选取，且应优先采用第一系列。

表 10-59　圆柱蜗杆模数 *m*（GB/T10088—1988）

（单位：mm）

第一系列	0.1，0.12，0.16，0.2，0.25，0.3，0.4，0.5，0.6，0.8，1，1.25，1.6，2，2.5，3.15，4，5，6.3，8，10，12.5，16，20，25，31.5，40
第二系列	0.7，0.9，1.5，3，3.5，4.5，5.5，6，7，12，14

2）蜗杆分度圆直径 d_1。蜗杆分度圆直径 d_1 应按表10-60规定的数值选取，且优先采用第一系列。

表 10-60　蜗杆分度圆直径 d_1（GB/T10088—1988）

（单位：mm）

第一系列	4，4.5，5，5.6，6.3，7.1，8，9，10，11.2，12.5，14，16，18，20，22.4，25，28，31.5，35.5，40，45，50，56，63，71，80，90，100，112，125，140，160，180，200，224，250，280，315，355，400
第二系列	6，7.5，8.5，15，30，38，48，53，60，67，75，85，95，106，118，132，144，170，190，300

3）蜗杆分度圆上的导程角 γ 见表10-61。

表 10-61　蜗杆分度圆上的导程角 γ

z_1 \ q	14	13	12	11	10	9	8
1	4°05′08″	4°23′55″	4°45′49″	5°11′40″	5°42′38″	6°20′25″	7°07′30″
2	8°07′48″	8°44′46″	9°27′44″	10°18′17″	11°18′36″	12°31′44″	14°02′10″
3	12°05′41″	12°59′41″	14°02′10″	15°15′18″	16°41′57″	18°26′06″	20°33′22″
4	15°56′43″	17°06′10″	18°26′06″	19°58′59″	21°48′05″	23°57′45″	26°33′54″

注：z_1 蜗杆头数，q 为直径系数。

4）蜗杆头数 z_1 与蜗轮齿数 z_2 的推荐值见表10-62。

表 10-62　蜗杆头数 z_1 与蜗轮齿数 z_2 的推荐值

$i=\frac{z_2}{z_1}$	z_1	z_2	$i=\frac{z_2}{z_1}$	z_1	z_2
7～8	4	28～32	25～27	2～3	50～81
9～13	3～4	27～52	28～40	1～2	28～80
14～24	2～3	28～72	≥40	1	≥40

5）中心距。一般圆柱蜗杆传动的减速装置的中心距 a 按表 10-63 选用。

表 10-63　中心距

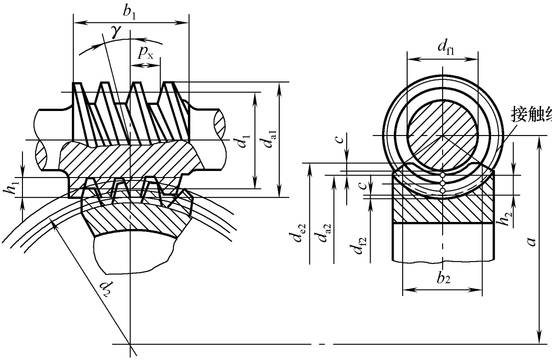
中心距	40	50	63	80	100	125	160	(180)	200
a/mm	(225)	250	(280)	315	(355)	400	(450)	500	—

注：括号中的数值尽可能不用。

（3）圆柱蜗杆传动几何尺寸的计算（表 10-64）

表 10-64　圆柱蜗杆传动几何尺寸的计算

（GB/T10085—1988）（单位：mm）



名称	代号	关系式	说明
中心距	a	$a=(d_1+d_2+2x_2m)/2$	按规定选取
蜗杆头数	z_1		按规定选取
蜗轮齿数	z_2		按传动比确定
齿形角	α	$\alpha_x=20°$或 $\alpha_n=20°$	按蜗杆类型确定

（续）

名称	代号	关系式	说明
模数	m	$m = m_x = \frac{m_n}{\cos\gamma}$	按规定选取
传动比	i	$i = n_1/n_2$	蜗杆为主动,按规定选取
蜗轮变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a}{m} - \frac{d_1 + d_2}{2m}$	正常蜗轮变位系数取零
蜗杆直径系数	q	$q = d_1/m$	
蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	
蜗杆导程	p_z	$p_z = \pi m z_1$	
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = mq$	按规定选取
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2h_a^* m$	
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 2(h_a^* m + c)$	
顶隙	c	$c = c^* m$	按规定
渐开线蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \tan\gamma/\tan\gamma_b = mz_1/\tan\gamma_b$	
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m = \frac{1}{2}(d_{a1} - d_1)$	按规定
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = (h_a^* + c)m = \frac{1}{2}(d_1 - d_{f1})$	

（续）

名称	代号	关系式	说明
蜗杆齿高	h_1	$h_1=h_{a1}+h_{f1}=\frac{1}{2}(d_{a1}-d_{f1})$	
蜗杆导程角	γ	$\tan\gamma=mz_1/d_1=z_1/q$	
渐开线蜗杆基圆导程角	γ_b	$\cos\gamma_b=\cos\gamma\cos\alpha_n$	
蜗杆齿宽	b_1		由设计确定
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2=mz_2=2a-d_1-2x_2m$	正常蜗轮 $x_2=0$
蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2}=d_2+2h_{a2}$	
蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2}=d_2-2h_{f2}$	
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2}=\frac{1}{2}(d_{a2}-d_2)=m(h_a^*+x_2)$	正常蜗轮 $x_2=0$
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2}=\frac{1}{2}(d_2-d_{f2})=m(h_a^*-x_2+c^*)$	正常蜗轮 $x_2=0$
蜗轮齿高	h_2	$h_2=h_{a2}+h_{f2}=\frac{1}{2}(d_{a2}-d_{f2})$	
蜗轮咽喉母圆半径	r_{g2}	$r_{g2}=a-\frac{1}{2}d_{a2}$	

（续）

名称	代号	关系式	说明
蜗轮齿宽	b_2		由设计确定
蜗轮齿宽角	θ	$\theta=2\arcsin\left(\dfrac{b_2}{d_1}\right)$	
蜗杆轴向齿厚	s_x	$s_x=\dfrac{1}{2}\pi m$	
蜗杆法向齿厚	s_n	$s_n=s_x\cos\gamma$	
蜗轮齿厚	s_t	按蜗杆节圆处轴向齿槽宽 e_x' 确定	
蜗杆节圆直径	d_1'	$d_1'=d_1+2x_2m=m(q+2x_2)$	
蜗轮节圆直径	d_2'	$d_2'=d_2$	

（4）圆柱蜗杆、蜗轮精度

1）公差组、精度等级及其选择。

① 公差组。按各误差项目对蜗杆传动使用要求的主要影响，将蜗杆、蜗轮及传动制造误差的公差（极限偏差）分为三个公差组，见表 10-65。

表 10-65 蜗杆、蜗轮及传动的公差组（GB/T 10089—1988）

公差组＼应用	蜗　杆	蜗　轮	传动副
Ⅰ	—	F_i'、F_i''、F_p、F_{pk}、F_r	F_{ic}'
Ⅱ	f_h、f_{hL}、f_{px}、f_{pxL}、f_r	f_i'、f_i''、f_{pt}	f_{ic}'
Ⅲ	f_{fl}	f_2	接触斑点，f_a、f_Σ、f_x

② 蜗杆、蜗轮各项偏差代号名称见表 10-66。

表 10-66　蜗杆、蜗轮各项偏差代号名称

代号	名　　称	代号	名　　称
F'_i	蜗轮切向综合公差	f_r	蜗杆齿槽径向跳动公差
F''_i	蜗轮径向综合公差	f'_i	蜗轮一齿切向综合公差
F_p	蜗轮齿距累积公差	f''_i	蜗轮一齿径向综合公差
F_{pk}	蜗轮 k 个齿距累积公差	f_{pt}	蜗轮齿距极限偏差
F_r	蜗轮齿圈径向跳动公差	f'_{jc}	蜗杆副的一齿切向综合公差
F'_{jc}	蜗杆副的切向综合公差	f_{f1}	蜗杆齿形公差
f_h	蜗杆一转螺旋线公差	f_{f2}	蜗轮齿形公差
f_{hL}	螺杆螺旋线公差	f_a	蜗杆副的中心距极限偏差
f_{px}	螺杆轴向齿距极限偏差	f_Σ	蜗杆副轴交角极限偏差
f_{pxL}	螺杆轴向齿距累积公差	f_x	蜗杆副的中间平面极限偏差

③ 精度等级的选择。蜗杆、蜗轮和蜗杆传动共分为 12 个等级。第 1 级的精度最高，第 12 级的精度最低。

根据使用要求，允许各公差组选用不同的精度等级。蜗杆和配对蜗轮的精度等级一般取成相同，也允许取成不同。对有特殊要求的蜗杆传动，除 F_r、F''_i、f''_i、f_r 项目外，其蜗杆、蜗轮左右齿面的精度等级也可取成不相同。常用的精度等级范围见表 10-67。

表 10-67　常用的精度等级范围

序号	用　　途	精度等级范围
1	测量蜗杆	1 ~ 5
2	分度蜗轮母机的分度传动	1 ~ 3
3	齿轮机床的分度转动	3 ~ 5
4	高精度分度装置	1 ~ 4

（续）

序号	用　　途	精度等级范围
5	一般分度装置	3～5
6	机床进给、操纵机构	5～8
7	化工机械调速传动	5～8
8	冶金机械升降机构	5～7
9	起重运输机械、电梯的曳引装置	6～9
10	通用减速器	6～8
11	纺织机械传动装置	6～8
12	舞台升降装置	9～12
13	煤气发生炉调速装置	9～12
14	塑料蜗杆、蜗轮	9～12

2）侧隙种类及选择。蜗杆传动有 8 种侧隙，按最小法向侧隙值由大到小的顺序，分别用字母代号 a、b、c、d、e、f、g、h 表示，见图 10-24。

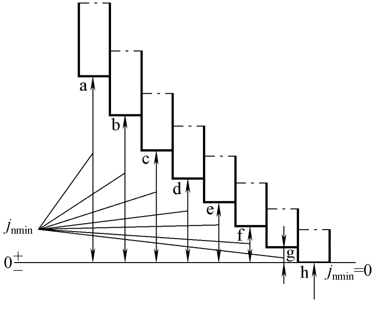


图 10-24　蜗杆传动最小法向侧隙

8 种侧隙种类的侧隙规范值是蜗杆传动在 20°时的情

况下确定的，未计入传动发热和传动弹性变形的影响。

侧隙种类与传动精度等级无关，但侧隙值的大小则受制造误差的影响。在选择侧隙种类时需考虑同运动精度（第1公差组）等级的对应关系，见表10-68。

表10-68　侧隙种类与适用的精度等级

侧隙种类	h	g	f	e	d	c	b	a
第Ⅰ公差组精度等级	1～6	1～6	1～7	3～8	3～9	3～10	3～12	5～12

3）标注示例。

蜗杆 5 f GB/T 10089—1988

侧隙种类代号

第Ⅱ、Ⅲ公差组的精度等级

蜗杆 5 $\left(\begin{matrix}-0.27\\-0.40\end{matrix}\right)$ GB/T 10089—1988

齿厚极限偏差

第Ⅱ、Ⅲ公差组的精度等级

蜗轮 5 f GB/T 10089—1988

侧隙种类代号

蜗轮第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ公差组的精度等级

蜗轮 5-6-6 f GB/T 10089—1988

侧隙种类代号

第Ⅲ公差组精度等级

第Ⅱ公差组精度等级

第Ⅰ公差组精度等级

若上例中齿厚极限偏差为非标准值，如上偏差为+0.10mm，下偏差为-0.10mm，则标注为

5-6-6 （±0.10） GB/T 10089—1988

若蜗轮齿厚无公差要求，则标注为

5-6-6 GB/T 10089—1988

对传动，应标注出相应的精度等级和侧隙种类代号。如传动的三个公差组的精度同为5级，侧隙种类为f，则标注为

传动 5 f GB/T 10089—1988

若此例中侧隙为非标准值，如 $j_{tmin}=0.03$mm，$j_{tmax}=0.06$mm，则标注为

$$传动\quad 5\quad \begin{pmatrix}0.03\\0.06\end{pmatrix}t\quad GB/T\ 10089—1988$$

若为法向侧隙时，则标注为

$$传动\quad 5\quad \begin{pmatrix}0.03\\0.06\end{pmatrix}\quad GB/T\ 10089—1988$$

（5）齿坯要求

齿坯的加工质量直接影响齿轮的制造精度和测量结果的准确性。因此，必须对齿坯检验提出具体要求：

1）蜗杆、蜗轮在加工、检验、安装时的径向、轴向基准面应尽可能一致，并要在图样上标注。

2）蜗杆、蜗轮的齿坯检验项目及公差见表10-69、表10-70，对于其他非基准面结构要素的尺寸、形状和位置公差及表面粗糙度可自行规定。

表 10-69　蜗杆、蜗轮齿坯尺寸和形状公差
（GB/T 10089—1988）

精度等级		3	4	5	6	7	8	9	10
孔	尺寸公差	IT4		IT5	IT6	IT7		IT8	
	形状公差	IT3		IT4	IT5	IT6		IT7	
轴	尺寸公差	IT4		IT5		IT6		IT7	
	形状公差	IT3		IT4		IT5		IT6	
齿顶圆直径公差		IT7			IT8			IT9	

注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。

2. 当齿顶圆不作测量齿厚基准时，尺寸公差按 IT11 确定，但不得大于 $0.1m_n$。

表 10-70　蜗杆、蜗轮齿坯基准面径向和端面跳动公差
（GB/T 10089—1988）（单位：μm）

基准面直径 *d* /mm	精度等级			
	3～4	5～6	7～8	9～10
≤31.5	2.8	4	7	10
>31.5～63	4	6	10	16
>63～125	5.5	8.5	14	22
>125～400	7	11	18	28
>400～800	9	14	22	36
>800～1600	12	20	32	50
>1600～2500	18	28	45	71

注：1. 当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。

2. 当以齿顶圆作为测量基准时，齿顶圆即属齿坯基准面。

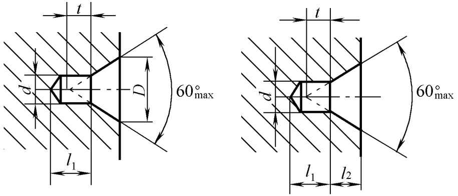
三、机械加工的一般标准规范

1. 中心孔（GB/T 145—2001）

60°中心孔分A型、B型、C型、R型4种形式（表10-71～表10-74）。

表10-71　A型中心孔的形式和尺寸

（单位：mm）



d	D	l_2	t 参考尺寸	d	D	l_2	t 参考尺寸
(0.50)	1.06	0.48	0.5	2.50	5.30	2.42	2.2
(0.63)	1.32	0.60	0.6	3.15	6.70	3.07	2.8
(0.80)	1.70	0.78	0.7	4.00	8.50	3.90	3.5
1.00	2.12	0.97	0.9	(5.00)	10.60	4.85	4.4
(1.25)	2.65	1.21	1.1	6.30	13.20	5.98	5.5
1.60	3.35	1.52	1.4	(8.00)	17.00	7.79	7.0
2.00	4.25	1.95	1.8	10.00	21.20	9.70	8.7

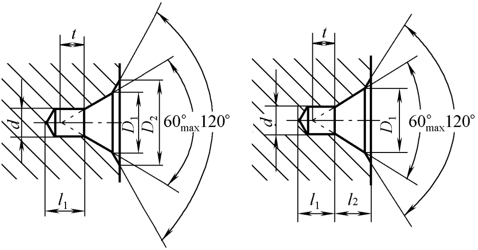
注：1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1，即使中心钻重磨后再使用，此值也不应小于 t 值。

2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸，制造厂可任选其中一个尺寸。

3. 括号内的尺寸尽量不采用。

表 10-72　B 型中心孔的形式和尺寸

（单位：mm）



d	D_1	D_2	l_2	t 参考尺寸	d	D_1	D_2	l_2	t 参考尺寸
1.00	2.12	3.15	1.27	0.9	4.00	8.50	12.50	5.05	3.5
(1.25)	2.65	4.00	1.60	1.1	(5.00)	10.60	16.00	6.41	4.4
1.60	3.35	5.00	1.99	1.4	6.30	13.20	18.00	7.36	5.5
2.00	4.25	6.30	2.54	1.8	(8.00)	17.00	22.40	9.36	7.0
2.50	6.30	8.00	3.20	2.2	10.00	21.20	28.00	11.66	8.7
3.15	6.70	10.00	4.03	2.8					

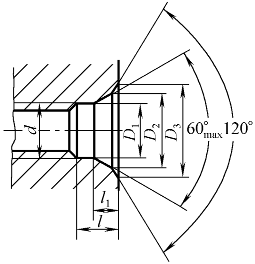
注：1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1，即使中心钻重磨后再使用，此值也不应小于 t 值。

2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸，制造厂可任选其中一个尺寸。

3. 括号内的尺寸尽量不采用。

表 10-73　C 型中心孔的形式和尺寸

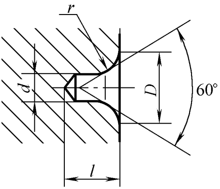
（单位：mm）



d	D_1	D_2	D_3	l	l_1 参考尺寸	d	D_1	D_2	D_3	l	l_1 参考尺寸
M3	3.2	5.3	5.8	2.6	1.8	M10	10.5	14.9	16.3	7.5	3.8
M4	4.3	6.7	7.4	3.2	2.1	M12	13.0	18.1	19.8	9.5	4.4
M5	5.3	8.1	8.8	4.0	2.4	M16	17.0	23.0	25.3	12.0	5.2
M6	6.4	9.6	10.5	5.0	2.8	M20	21.0	28.4	31.3	15.0	6.4
M8	8.4	12.2	13.2	6.0	3.3	M24	26.0	34.2	38.0	18.0	8.0

表 10-74　R 型中心孔的形式和尺寸

（单位：mm）



（续）

d	D	l_{min}	r max	r min	d	D	l_{min}	r max	r min
1.00	2.12	2.3	3.15	2.50	4.00	8.50	8.9	12.50	10.00
(1.25)	2.65	2.8	4.00	3.15	(5.00)	10.60	11.2	16.00	12.50
1.60	3.35	3.5	5.00	4.00	6.30	13.20	14.0	20.00	16.00
2.00	4.25	4.4	6.30	5.00	(8.00)	17.00	17.9	25.00	20.00
2.50	5.30	5.5	8.00	6.30	10.00	21.20	22.5	31.50	25.00
3.15	6.70	7.0	10.00	8.00					

注：括号内的尺寸尽量不采用。

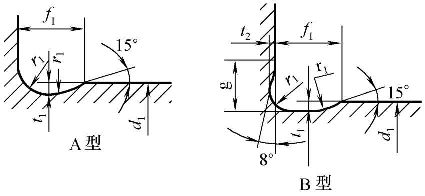
2. 各类槽

（1）退刀槽

1）外圆退刀槽的各部尺寸见表10-75。

表10-75　外圆退刀槽的各部尺寸

（单位：mm）



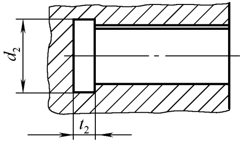
（续）

r_1	t_1 +0.1	f_1	g ≈	t_2 −0.05	推荐的配合直径 d_1	
					用于一般载荷	用于交变载荷
0.6	0.2	2	1.4	0.1	~18	—
	0.3	2.5	2.1	0.2	>18~80	
1	0.4	4	3.2	0.3	>80	
	0.2	2.5	1.8	0.1	—	>18~50
1.6	0.3	4	3.1	0.2		>50~80
2.5	0.4	5	4.8	0.3		>80~125
4	0.5	7	6.4	0.3		125

注：A 型（轴的配合面需磨削，轴肩不磨削）。
B 型（轴的配合面及轴肩皆需磨削）。

2）带槽孔的退刀槽见表 10-76。

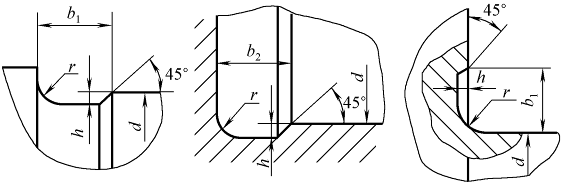
表 10-76　带槽孔的退刀槽

图　　示	说　　明
	退刀槽直径 d_2 可按选用的平键或楔键而定 退刀槽的深度 t_2 一般为 20mm，如因结构上的原因 t_2 的最小值不得小于 10mm 退刀槽的表面粗糙度一般选用 $Ra3.2\mu m$，根据需要也可选用 $Ra1.6\mu m$、$0.8\mu m$、$0.4\mu m$

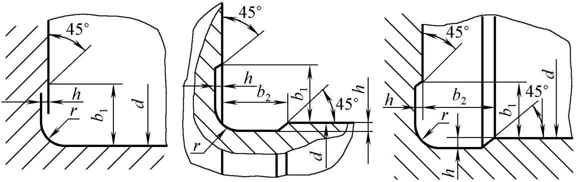
（2）砂轮越程槽（GB/T 6403.5—2008）（表 10-77 ~表 10-81）

表 10-77　磨回转面及端面砂轮越程槽

（单位：mm）



a) 磨外圆　　b) 磨内圆　　c) 磨外端面



d) 磨内端面　　e) 磨外圆及端面　　f) 磨内圆及端面

b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2		0.3	0.4		0.6	0.8	1.2
r	0.2	0.5		0.8	1.0		1.6	2.0	3.0

（续）

d	~10	10~50	50~100	>100

注：1. 越程槽内两直线相交处，不允许产生尖角。

2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r，要满足 $r<3h$。

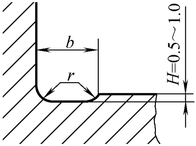
3. 磨削具有数个直径的工件时，可使用同一规格的越程槽。

4. 直径 d 值大的零件，允许选择小规格的砂轮越程槽。

5. 砂轮越程槽的尺寸公差和表面粗糙度根据该零件的结构、性能确定。

表 10-78　磨平面砂轮越程槽

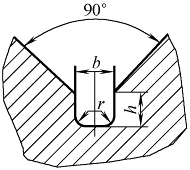
（单位：mm）



b	2	3	4	5
r	0. 5	1. 0	1. 2	1. 6

表 10-79　磨 V 形面砂轮越程槽

（单位：mm）

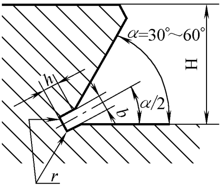


（续）

b	2	3	4	5
h	1.6	2.0	2.5	3.0
r	0.5	1.0	1.2	1.6

表 10-80　磨燕尾导轨面砂轮越程槽

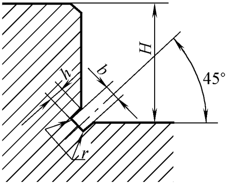
（单位：mm）



H	≤5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
b / *h*	1	2		3			4			5			6
r	0.5	0.5		1.0			1.6			1.6			2.0

表 10-81　磨矩形导轨面砂轮越程槽

（单位：mm）



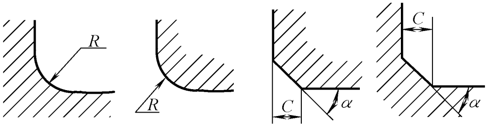
（续）

H	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
b	2				3				5		8	
h	1.6				2.0				3.0		5.0	
r	0.5				1.0				1.6		2.0	

3. 零件倒圆与倒角（GB/T 6403.4—2008）（表 10-82～表 10-84）

表 10-82　倒圆倒角尺寸 *R*、*C* 系列值

（单位：mm）

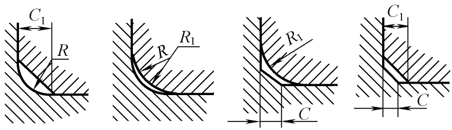


a)　　b)　　c)　　d)

R、	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0
C	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25	32	40	50	

表 10-83　内角倒角、外角倒圆时 *C* 的最大值 C_{max} 与 R_1 的关系

（单位：mm）



a)　　b)　　c)　　d)

（续）

R_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
C_{max}	—	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
R_1	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25
C_{max}	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12

表 10-84　与直径 ϕ 相应的倒角 C、倒圆 R 的推荐值

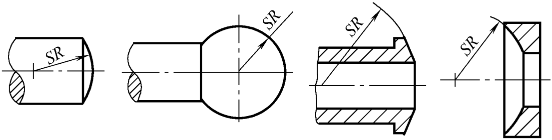
（单位：mm）

ϕ	~3	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50
C 或 R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6
ϕ	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~320	>320 ~400
C 或 R	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
ϕ	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600
C 或 R	8.0	10	12	16	20	25

4. 球面半径（表 10-85）

表 10-85　球面半径系列值（GB/T6403. 1—2008）

（单位：mm）



第 1 系列	0. 2	0. 4	0. 6	1. 0	1. 6	2. 5	4. 0	6. 0	10	16	20
第 2 系列	0. 3	0. 5	0. 8	1. 2	2. 0	3. 0	5. 0	8. 0	12	18	22
第 1 系列	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
第 2 系列	28	36	45	56	71	90	110	140	180	220	280
第 1 系列	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
第 2 系列	360	450	560	710	900	1100	1400	1800	2200	2800	

注：优先选用表中第 1 系列。

5. 螺纹零件

（1）紧固件外螺纹零件的末端（GB/T2—2001）

1）紧固件公称长度以内的末端形式见图 10-25。

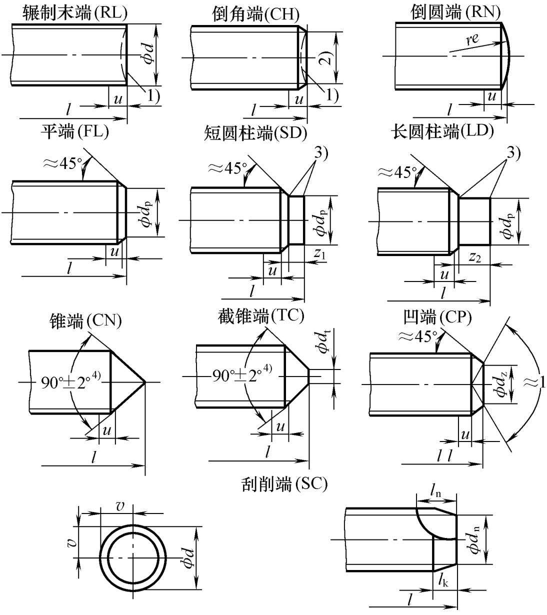


图 10-25　紧固件公称长度以内的末端形式

注：1. $r_e \approx 1.4d$；$u = 0.5d \pm 0.5$；$d_n = d - 1.6P$；$l_n \leqslant 5P$；$l_k \leqslant 3P$；$l_n - l_k \geqslant 2P$；P—螺距。

2. l 为紧固件的公称长度。

3. 不完整螺纹的长度 $u \leqslant 2P$。

4. 对 FL、SD、LD 和 CP 型末端，45°仅指螺纹小径以下的末端部分。

图中：1）端面可以是凹面；2）≤螺纹小径；3）倒圆。

4）对图中：短螺钉为 120° ±2°，并按产品标准的规定，如 GB/T78—2007。

2）紧固件公称长度以外的末端形式见图 10-26。

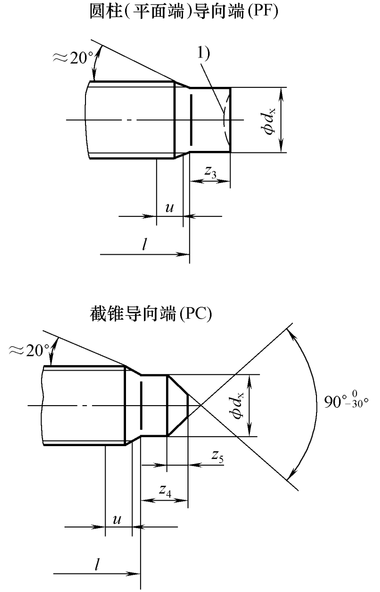


图 10-26　紧固件公称长度以外的末端形式

注：1. 不完整螺纹的长度 $u\leqslant 2P$；P—螺距。

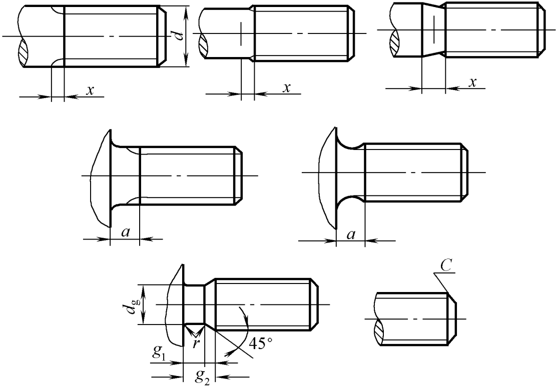
2. 20°仅指螺纹小径以下的末端部分。

①　处的端面可以是凹面。

（2）普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸（表 10-86）

表 10-86　普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸(GB/T3—1997)

(单位:mm)



（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 x max		肩距 a max			退刀槽				倒角 C
		一般	短的	一般	长的	短的	g_2 max	g_1 min	r ≈	d_g	
0.2	—	0.5	0.25	0.6	0.8	0.4	—	—	—	—	0.2
0.25	1;1.2	0.6	0.3	0.75	1	0.5	0.75	0.4	0.12	$d-0.4$	
0.3	1.4	0.75	0.4	0.9	1.2	0.6	0.9	0.6	0.16	$d-0.5$	0.3
0.35	1.6;1.8	0.9	0.45	1.05	1.4	0.7	1.05	0.6		$d-0.6$	
0.4	2	1	0.5	1.2	1.6	0.8	1.2		0.2	$d-0.7$	0.4
0.45	2.2;2.5	1.1	0.6	1.35	1.8	0.9	1.35	0.7		$d-0.7$	
0.5	3	1.25	0.7	1.5	2	1	1.5	0.8		$d-0.8$	0.5
0.6	3.5	1.5	0.75	1.8	2.4	1.2	1.8	0.9	0.4	$d-1$	
0.7	4	1.75	0.9	2.1	2.8	1.4	2.1	1.1		$d-1.1$	0.6
0.75	4.5	1.9	1	2.25	3	1.5	2.25	1.2		$d-1.2$	
0.8	5	2	1	2.4	3.2	1.6	2.4	1.3		$d-1.3$	0.8
1	6;7	2.5	1.25	3	4	2	3	1.6	0.6	$d-1.6$	1
1.25	8	3.2	1.6	4	5	2.5	3.75	2		$d-2$	1.2
1.5	10	3.8	1.9	4.5	6	3	4.5	2.5	0.8	$d-2.3$	1.5

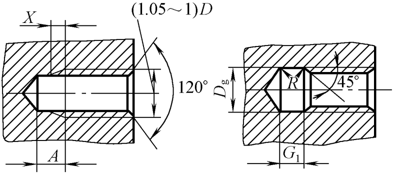
（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 x max		肩距 a max			退刀槽				倒角 C
		一般	短的	一般	长的	短的	g_2 max	g_1 min	r ≈	d_g	
1.75	12	4.3	2.2	5.3	7	3.5	5.25	3	1	d−2.6	2
2	14;16	5	2.5	6	8	4	6	3.4		$d-3$	
2.5	18;20;22	6.3	3.2	7.5	10	5	7.5	4.4	1.2	$d-3.6$	2.5
3	24;27	7.5	3.8	9	12	6	9	5.2	1.6	$d-4.4$	
3.5	30;33	9	4.5	10.5	14	7	10.5	6.2		$d-5$	3
4	36;39	10	5	12	16	8	12	7	2	$d-5.7$	
4.5	42;45	11	5.5	13.5	18	9	13.5	8	2.5	$d-6.4$	4
5	48;52	12.5	6.3	15	20	10	15	9		$d-7$	
5.5	56;60	11	7	15.5	22	11	17.5	11	3.2	$d-7.7$	5
6	64;68	15	7.5	18	24	12	18			$d-8.3$	

注：1. 外螺纹倒角和退刀槽过渡角一般按 45°，也可按 60°或 30°。当螺纹按 60°或 30°倒角时，倒角深度应大于或等于牙型高度。
2. 肩距 a 是螺纹收尾 x 加螺纹空白的总长。设计时应优先考虑一般肩距尺寸。短的肩距只在结构需要时采用。产品等级为 B 或 C 级的螺纹紧固件可采用长肩距。
3. 细牙螺纹按本表螺距 P 选用。

（3）普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（表 10-87）

表 10-87　普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（GB/T3—1997）（单位：mm）



螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 X max 一般	螺纹收尾 X max 短的	肩距 A 一般	肩距 A 长的	退刀槽 G_1 一般	退刀槽 G_1 短的	退刀槽 R ≈	退刀槽 D_g
0.2	—	0.8	0.4	1.2	1.6				$d+0.3$
0.25	1,1.2	1	0.5	1.5	2				
0.3	1.4	1.2	0.6	1.8	2.4				
0.35	1.6,1.8	1.4	0.7	2.2	2.8				
0.4	2	1.6	0.8	2.5	3.2				
0.45	2.2,2.5	1.8	0.9	2.8	3.6				
0.5	3	2	1	3	4	2	1	0.2	
0.6	3.5	2.4	1.2	3.2	4.8	2.4	1.2	0.3	
0.7	4	2.8	1.4	3.5	5.6	2.8	1.4	0.4	
0.75	4.5	3	1.5	3.8	6	3	1.5	0.4	
0.8	5	3.2	1.6	4	6.4	3.2	1.6	0.4	

（续）

螺距 P	粗牙螺纹外径 d	螺纹收尾 X max		肩距 A		退刀槽			
						G_1		R ≈	D_g
		一般	短的	一般	长的	一般	短的		
1	6;7	4	2	5	8	4	2	0.5	$d+0.5$
1.25	8	5	2.5	6	10	5	2.5	0.6	
1.5	10	6	3	7	12	6	3	0.8	
1.75	12	7	3.5	9	14	7	3.5	0.9	
2	14,16	8	4	10	16	8	4	1	
2.5	18,20,22	10	5	12	18	10	5	1.2	
3	24,27	12	6	14	22	12	6	1.5	
3.5	30,33	14	7	16	24	14	7	1.8	
4	36,39	16	8	18	26	16	8	2	
4.5	42,45	18	9	21	29	18	9	2.2	
5	48,52	20	10	23	32	20	10	2.5	
5.5	56,60	22	11	25	35	22	11	2.8	
6	64,68	24	12	28	38	24	12	3	

注：1. 内螺纹倒角一般是120°倒角，也可以是90°倒角。端面倒角直径为（1.05～1）D。

2. 肩距 A 是螺纹收尾 X 加螺纹空白的总长。

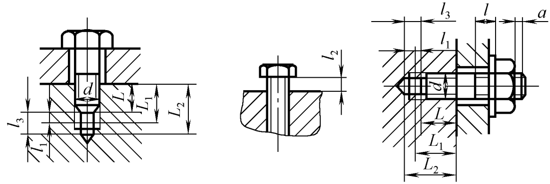
3. 应优先采用一般长度的收尾和肩距；短的退刀槽只在结构需要时采用；产品等级为B或C级的螺纹紧固件可采用长肩距。

4. 细牙螺纹按本表螺距 P 选用。

（4）普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度（表 10-88）

表 10-88　普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度

（单位：mm）



螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l = l_2$	l_3	a
0.5	3		1	2	3	0.5～1.5
		5				
0.7	4		1.5	2.5	4	1～2
0.75		6			5	
0.8	5					
1	6		2	3.5	6	1.5～2.5
		8				
		10				
		14				
		16				
		18				
1.25	8	12	2.5	4	8	1.5～2.5

（续）

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l=l_2$	l_3	a
1.5	10		3	4.5	9	2～3
		14				
		16				
		18				
		20				
		22				
		24				
		27				
		30				
		33				
1.75	12		3.5	5.5	11	
2	14		4	6	12	2.5～4
	16					
		24				
		27				
		30				
		33				
		36				
		39				
		45				
		48				
		52				

（续）

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l=l_2$	l_3	a
2. 5	18		5	7	15	2. 5 ~4
	20					
	22					
3	24		6	8	18	3 ~5
	27	36				
		39				
		42				
		45				
		48				
		56				
		60				
		64				
		72				
		76				
3. 5	30		7	9	21	
4	36		8	10	24	4 ~7
		56				
		60				
		64				
		68				
		72				
		76				

（续）

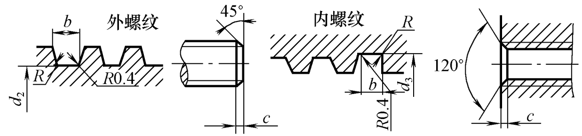
螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔	
P	d		l_1	$l=l_2$	l_3	a
4.5	42		9	11	27	4～7
5	48		10	13	30	6～10
5.5	56		11	16	33	
6	64		12	18	36	
	72					
	76					

注：1. 拧入深度 L 由设计者决定。
2. 钻孔深度 $L_2=L+l_3$。
3. 螺孔深度 $L_1=L+l_1$（不包括螺尾）。

（5）梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（表 10-89）

表 10-89　梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸

（单位：mm）



螺距（或导程）P	b	d_2	d_3	R	c
2	2.5	$d-3$	$d+1$	1	1.5
3	4	$d-4$			2
4	5	$d-5.1$	$d+1.1$	1.5	2.5

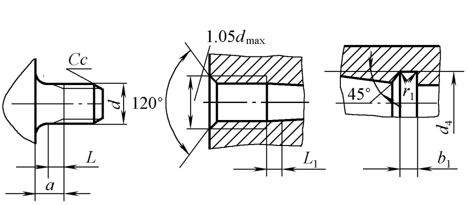
（续）

螺距（或导程）P	b	d_2	d_3	R	c
5	6.5	$d-6.6$	$d+1.6$	1.5	3
6	7.5	$d-7.8$	$d+1.8$	2	3.5
8	10	$d-9.8$		2.5	4.5
10	12.5	$d-12$	$d+2$	3	5.5
12	15	$d-14$			6
16	20	$d-19.2$	$d+3.2$	4	9
20	24	$d-23.5$	$d+3.5$	5	11
24	30	$d-27.5$			13
32	40	$d-36$	$d+4$	6	17
40	50	$d-44$			21

注：表中 d 为螺纹公称直径。

（6）米制锥螺纹的结构要素（表 10-90、表 10-91）

表 10-90　米制锥螺纹的螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸　（单位：mm）



（续）

螺纹代号	螺距 P	外螺纹			内螺纹			
		螺纹收尾 L	肩距 a	倒角 c	螺纹收尾 L_1	退刀槽		
						b_1	r_1	d_4
ZM6	1	2	3	1	3	3	0.5	6.5
ZM8								8.5
ZM10								10.5
ZM14	1.5	3	4.5		4.5	4.5	1	14.5
ZM18								18.5
ZM22								22.5
ZM27	2	4	6	1.5	6	6	1	27.5
ZM33								33.5
ZM42								42.5
ZM48								48.5
ZM60								60.5
ZM76								77.5
ZM90	3	6	8		9	9	1.5	91.5

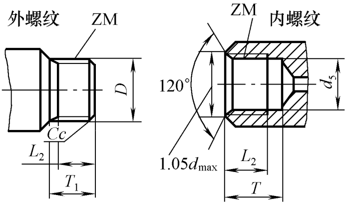
注：1. 外螺纹倒角和螺纹退刀槽过渡角一般按45°，也可按60°或30°。当按60°或30°倒角时，倒角深度约等于螺纹深度。

2. 内螺纹倒角一般是120°锥角，也可以是90°锥角。

3. d 为基面上螺纹大径（对内螺纹即螺孔端面的螺纹大径）。

表 10-91　米制锥螺纹接头尾端尺寸

（单位：mm）



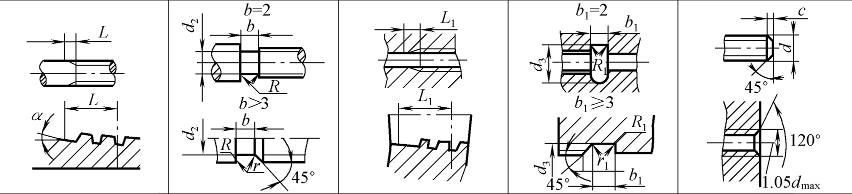
螺纹代号	d	L_2	T_1	T	d_5		c
					Ⅰ	Ⅱ	
ZM6	6. 18	7. 5	10. 5	12	4	4. 5	1
ZM8	8. 18				6	6. 5	
ZM10	10. 18				8	8. 5	
ZM14	14. 28	11. 5	16	18	11	11. 8	1. 5
ZM18	18. 28				15	15. 7	
ZM22	22. 28				19	19. 7	
ZM27	27. 37	15	21	23	23	24	
ZM33	33. 37				29	30	
ZM42	42. 37	16	22	24	38	39	
ZM48	48. 37				44	45	
ZM60	60. 37	18	24	26	56	57	

Ⅰ—铰锥孔前的底孔直径，用于高压接头。Ⅱ—钻孔后攻螺纹用的底孔直径。d—基面上的螺纹大径。

（7）圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（表 10-92）

表 10-92　圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸　（单位：mm）

外螺纹		内螺纹		倒角
收尾	退刀槽	收尾	退刀槽	



螺纹代号	每英寸牙数 n	外螺纹					内螺纹					c
		L≤（α = 25°时）	b	d_2	R	r	L_1 ≤	b_1	d_3	R_1	r_1	
G1/8	28	1.5	2	8	0.5	—	2	2	10	0.5	—	0.6
G1/4	19	2	3	11	1	0.5	3	3	13.5	1	0.5	1
G3/8				14					17			
G1/2	14	2.5	4	18			4	4	21.5			1.5
G5/8				20					23.5			
G3/4				23.5					27			
G1	11	3.5	5	29.5	1.5		5	6	34	1.5	1	
G1 1/4				38					42.5			

（续）

螺纹代号	每英寸牙数 n	外螺纹					内螺纹					c
		$L\leqslant$（$\alpha=25°$时）	b	d_2	R	r	$L_1\leqslant$	b_1	d_3	R_1	r_1	
G1$^{1}/_{2}$				44					48.5			
G1$^{3}/_{4}$				50			5	6	54.5	1.5		
G2				56					60.5			
G2$^{1}/_{4}$				62					66.5			
G2$^{1}/_{2}$				71			6	8	76	2		
G2$^{3}/_{4}$	11	3.5	5	78	1.5	0.5			82.5		1	1.5
G3				84					88.5			
G3$^{1}/_{2}$				96					101			
G4				109			8	10	114	3		
G5				134.5					139.5			
G6				160					165			

注：1. 外螺纹的螺尾角 $\alpha=25°$ 的螺尾数值系列为基本的。内螺纹的螺尾角不予规定，以螺尾长度 L_1 与螺纹牙型高度来确定。

2. 对辗制和铣制的螺尾角不予规定，而螺尾长度 L 不超过表中对 $\alpha=25°$时所规定的数值。

3. 螺纹倒角的宽度系指在切制螺纹前的数值。

4. 在必要的情况下，b（或 b_1）两种形式的退刀槽宽度可以采用本标准规定的其他退刀槽宽度，但不得小于 1.2 倍螺距和不大于 3 倍螺距。

5. 在结构有特殊要求时，允许不按本标准规定的退刀槽直径 d_2 与 d_3。

四、切削加工件通用技术条件（JB/T 8828—2001）

1. 一般要求

1）所有经过切削加工的零件都应符合产品图样和本标准的要求。

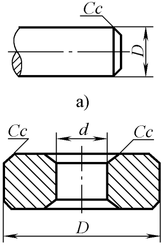
2）零件的加工面不允许有锈蚀和影响性能、寿命或外观的磕、碰、划伤等缺陷。

3）除有特殊要求外，加工后的零件不允许有尖棱、尖角和毛刺。

① 零件图样中未注明倒角高度时，应按表 10-93 的规定进行倒角。

表 10-93 零件未注明倒角高度时规定的倒角尺寸

（单位：mm）



b)

D（d）	c
≤5	0.2
5～30	0.5
30～100	1
100～250	2
250～500	3
500～1000	4
>1000	5

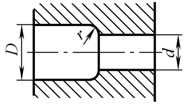
② 零件图样中未注明倒圆半径，又无清根要求

时，按表 10-94 的规定倒圆。

表 10-94　零件未注明倒圆时规定的倒圆尺寸

（单位：mm）

a)



b)

D（d）	D^*	r
≤4	3～10	0.4
4～12	10～30	1
12～30	30～80	2
30～80	80～260	4
80～140	260～630	8
140～200	630～1000	12
>200	>1000	20

注：1. D^* 值用于不通孔和外端面倒圆。

2. 非圆柱面的倒圆可参照此表。

4）滚压精加工的表面，滚压后不得有脱皮现象。

5）经过热处理的工件，精加工时不得产生烧伤、裂纹等缺陷。

6）不允许在精加工后的配合面、摩擦面和定位面等工件表面上打印标记。

7）采用一般公差的要素在图样上不单独注出其公差，而是在图样上、技术要求或技术文件（如企业标准）中作出总的说明，表示方法按 GB/T 1804—2000 和 GB/T 1184—1996 的规定。

2. 线性尺寸的一般公差

1）线性尺寸（不包括倒圆半径和倒角高度）的极

限偏差按 GB/T 1804—2000 中的 f 级和 m 级选取，其数值见表 10-95。

表 10-95　线性尺寸的极限偏差数值

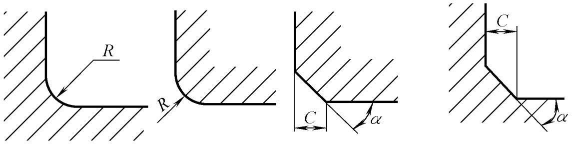
（单位：mm）

等级	尺寸分段							
	0.5～3	>3～6	>6～30	>30～120	>120～400	>400～1000	>1000～2000	>2000～4000
f（精密级）	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
m（中等级）	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2

2）倒角高度和倒圆半径按 GB/T 6403.4—2008 的规定选取，其尺寸的极限偏差数值按 GB/T 1804—2000 中 f 级和 m 级选取，见表 10-96。

表 10-96　倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值

（单位：mm）



等级	尺寸分段			
	0.5～3	>3～6	>6～30	>30
f（精密级）	±0.2	±0.5	±1	±2
m（中等级）	±0.4	±1	±2	±4

3. 角度尺寸的一般公差

角度尺寸的极限偏差按 GB/T 1804—2000 选取，其数值见表 10-97。

表 10-97　角度尺寸的极限偏差数值

等级	长度/mm				
	≤10	>10～50	>50～120	>120～400	>400
m(中等级)	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
c(粗糙级)	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′

注：长度值按短边长度确定。若为圆锥角，当锥度为 1∶3～1∶500 的圆锥，按圆锥长度确定；当锥度为大于 1∶3 的圆锥，按其素线长度确定。

4. 形状和位置公差的一般公差

（1）形状公差的一般公差

1）直线度与平面度。图样上直线度和平面度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 中 H 级或 K 级选用，其数值见表 10-98。

表 10-98　直线度和平面度的未注公差值

被测要素表面粗糙度 Ra/μm	直线度与平面度的公差等级	被测要素尺寸 L/mm					
		≤10	>10～30	>30～100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
		公差值/mm					
0.01～1.60	H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
3.2～25	K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8

注：被测要素尺寸 L，对直线度公差值系指被测要素的长度尺寸；对平面度公差值系指被测表面轮廓的较大尺寸。

2）圆度。图样上圆度的未注公差值等于直径公差值，但不应大于 GB/T 1184—1996 中的径向圆跳动值，其值见表 10-99。

表 10-99　圆度的未注公差值

（单位：mm）

等　　级	径向圆跳动值
H	0. 1
K	0. 2

（2）位置公差的一般公差

1）平行度。平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值，或是取直线度和平面度未注公差相应公差值的较大者。应取两要素中的较长者作为基准，若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

2）对称度

① 图样上对称度的未注公差值（键槽除外）按 GB/T 1184—1996 中 K 级选用，其数值见表 10-100。对称度应取两要素中较大者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等，则可任选一要素作为基准。

表 10-100　对称度的未注公差值

（单位：mm）

等　级	基本长度范围			
	≤100	＞100～300	＞300～1000	＞1000～3000
K	0. 6		0. 8	1. 0

② 图样上键槽对称度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 选用，其数值见表 10-101。

表 10-101　键槽对称度的未注公差值

（单位：mm）

键宽 *B*	对称度公差值	键宽 *B*	对称度公差值
2～3	0.020	>18～30	0.050
>3～6	0.025	>30～50	0.060
>6～10	0.030	>50～100	0.080
>10～18	0.040		

3）垂直度。图样上垂直度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 的规定选取，其数值见表 10-102。取形成直角的两边中较长的一边作为基准，较短的一边作为被测要素；若两边的长度相等，则可取其中的任意一边作为基准。

表 10-102　垂直度的未注公差值

（单位：mm）

等级	基本长度范围			
	≤100	>100～300	>300～1000	>1000～3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5

4）同轴度。在极限状况下，同轴度的未注公差值可以与表 10-99 中规定的径向圆跳动的未注公差值相等。应选两要素中的较长者为基准，若两要素长度相等则可任选一要素为基准。

5）圆跳动。圆跳动（径向、端面和斜向）的未注公差值见表 10-99。

对于圆跳动的未注公差值，应以设计或工艺给出的支承面作为基准，否则应取两要素中较长的一个作为基准；若两要素长度相等，则可任选一要素为基准。

6）中心距的极限偏差。当图样上未注明中心距的极限偏差时，按表 10-103 的规定选用。螺栓和螺钉尺寸按 GB/T 5277—1985 选取。

表 10-103　任意两螺钉、螺栓孔中心距的极限偏差

（单位：mm）

螺钉或螺栓规格	M2~M6	M8~M10	M12~M18	M20~M24	M27~M30	M36~M42	M48	M56~M72	≥M80
任意两螺钉孔中心距极限偏差	±0.12	±0.25	±0.30	±0.50	±0.60	±0.75	±1.00	±1.25	±1.50
任意两螺栓孔中心距极限偏差	±0.25	±0.50	±0.75	±1.00	±1.25	±1.50	±2.00	±2.50	±3.00

5. 螺纹

1）加工的螺纹表面不允许有黑皮、乱扣和毛刺等缺陷。

2）普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸应按 GB/T 3—1997 的相应规定。

6. 中心孔

零件图样中未注明中心孔的零件，加工中又需要中心孔时，在不影响使用和外观的情况下，加工后中心孔可以保留。中心孔的形式和尺寸根据需要按 GB/T 145 的规定选取。

图书在版编目（CIP）数据

机械工人切削技术手册/陈宏钧主编．—2 版．—北京：机械工业出版社，2010. 10（2014.2重印）
ISBN 978-7-111-31316-8

Ⅰ．①机…　Ⅱ．①陈…　Ⅲ．①金属切削–技术手册　Ⅳ．①TG5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 134857 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：刘彩英　责任编辑：张淑杰
版式设计：霍永明　责任校对：李秋荣
封面设计：姚　毅　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市胜利装订厂装订）
2012 年 0 月第 2 版第 1 次印刷
101mm×140mm · 18. 1875 印张 · 1 插页 753 千字
6 001—7 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-31316-8
定价：58. 00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　策划编辑：(010)88379772
社服务中心：(010)88361066　网络服务
销 售 一 部：(010)68326294　门户网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：(010)88379649　教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：(010)88379203　**封面无防伪标均为盗版**

ISBN 978-7-111-31316-8

封面设计/电脑制作：姚毅

定价：58.00元

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-31316-8
9 787111 313168 >